كراسات علمية

سلسلة غير دورية تعنى بالإنجازات العلمية الحديثة

إعذاب المياه

دكتور
عصام الدين خليل

تصدرها :
المكتبة الأكاديمية

رئيس التحرير
أ. د. أحمد شوقى

مدير التحرير
أ. أحمد أمين



المكتبة الأكاديمية

كراسات «علمية»

سلسلة غير دورية تصدرها المكتبة الأكاديمية

تعنى بتقديم الاجتهادات العلمية الحديثة

رئيس التحرير أ. د. أحمد شوقى   مدير التحرير أ. أحمد أمين

المراسلات : المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير الدقى ـ القاهرة ـ ت: ٣٤٨٥٢٨٢ ـ فاكس: ٣٤٩١٨٩٠(٢٠٢)



إعذاب المياه

إعذاب المياه

أ.د. عصام الدين خليل حسن



الناشر
المكتبة الاكاديمية
٢٠٠٠

حقوق النشر

المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير - الدقي - القاهرة

تليفون : ٣٤٨٥٢٨٢ / ٣٤٩١٨٩٠

فاكس : ٣٤٩١٨٩٠-٢٠٢-٠

هذه السلسلة

تعد استجابة منطقية لما لقيته شقيقتها الكبرى «كراسات مستقبلية» التى بدأ ظهور أعدادها الأولى عام ١٩٩٧، من الترحاب والتشجيع، المقرونين بالدعوة إلى زيادة مساحة العلم فى إصدارات السلسلة إلى أقصى حد ممكن.

لقد دفعتنا هذه الدعوة إلى التفكير فى أن نفرد للموضوعات العلمية سلسلة خاصة، تستحقها، فكانت هذه السلسلة، التى تمثل تطويراً وتوسعاً فى أحد محاور «كراسات مستقبلية» حيث ذكر فى مقدمتها ما نصه:

«الإلمام بمنجزات الثورة العلمية والتكنولوجية، التى تعد قوة الدفع الرئيسية فى تشكيل العالم، مع استيعاب تفاعلها مع الجديد فى العلوم الاجتماعية والإنسانية، من منطلق الإيمان بوحدة المعرفة».

ومن ملامح هذه السلسلة:

المحافظة على شكل المقال التفصيلى الطويل (Monograph) الذى تتميز به الكراسات عادة.

* الحرص على تقديم الاتجاهات والأفكار العلمية الجديدة، بجانب تقديم المعارف الخاصة بمختلف المجالات الحديثة، بشكل يسمح للقارئ «المتعلم غير المتخصص»، الذى يمثل القارئ المستهدف للكراسات، بالقدر الكافى من الإلمام والقدرة على المتابعة.

* وفى تقديمها للاتجاهات والمعارف العلمية الحديثة، لن تتبنى الكراسات الشكل النمطى لتبسيط العلوم، الذى يستهدف النجاح فى إضافة كمية ـ قلت أو كثرت ـ لبعض المعارف العلمية ـ إلى ثقافة المتلقى. إننا لا نتعامل هنا مع العلم كإضافة، ولكن كمكون عضوى أصيل للثقافة المعاصرة، وهو مكون ثرى، يتضمن المناهج والمعلومات والأفكار والاتجاهات.

* وتأكيداً لعدم النمطية، ستتسع السلسلة للتأليف والترجمة والعرض، وتتضمن اجتهادات التبسيط والتنظير والاستشراف، وستنطلق من أهمية تضامن المعرفة والحكمة وارتباط العلم الحديث بالتكنولوجيا technoscience، مع التركيز على أهمية ارتباطهما معا بالأخلاق.

وبعد، فإننى أتقدم إلى كل الزملاء الذين تحمسوا للفكرة، وساهموا فى تقديم المادة العلمية للسلسلة، وباسمهم وباسمى أشكر الصديق العزيز الأستاذ العزيز الأستاذ أحمد أمين، الناشر المثقف الذى احتفى من قبل بسلسلة «كراسات مستقبلية»، وشجعنا على إصدار هذه السلسلة الجديدة. والله الموفق.

هذه الكراسة

يشهد عالم اليوم أنواعا متعددة من الصراعات متباينة من الأسباب والأيديولوجيات قد تتلاقى مرة وتتضاد وتتصارع مرات، فلكل شعب وأمة تطلعات واهداف تنموية وأطماع، بعضها يتضح على السطح واغلبها يتوارى ساكنا فى أعماق الضمائر والنفوس والقرارات السرية.

ومن هذه الصراعات المعلنة تارة والخفية تارة أخرى الصراع على المياه شريان الحياة وعصب التنمية والازدهار. واصبح توفير المياه العذبة للشرب والاستخدامات المختلفة، فى عدد كثير من دول العالم، أحد التحديات المستمرة لبرامج التنمية فى المناطق الساحلية والصحراوية التى تقع بعيدا عن مصادر المياه الطبيعية من أنهار وآبار عذبة.

ففى عديد من البلدان تكون مصادر المياه الرئيسية محدودة ومحددة طبقا للاتفاقيات الدولية. يضاف إلى ذلك مصادر المياه الجوفية والآبار المتاحة، والتى قد لا تصلح بصورة مباشرة للاستخدام الآدمى أو الزراعة. ويعتبر الامتداد السياحى، وتنمية السواحل وإعداد مراكز صناعية لجذب السكان والسياحة، من القضايا الأساسية التى تعتمد على توافر مصادر للمياه، بمعدلات تتمشى مع الاستهلاكات المتوقعة.

وفى سبيل تحقيق ذلك فإننا نجد ان إعذاب المياه، هو أحد البدائل المطروحة لتوفير المياه، وتتعدد الطرق المستخدمة لإعذاب المياه وفقاً للتطبيقات الاقتصادية فى ظروف الموقع، ودرجة ملوحة المياه، وإنتاجية المحطات، والاستهلاك اليومى، وتوافر مصادر الطاقة، وتكاليف نقل المياه النقية والطاقة من الموقع واليه.

فالمياه هى الشريان الرئيسى للحياة وتظهر فى صورة الأنهار العذبة، والجداول والآبار، ومياه المحيطات والبحار، ومياه الأمطار. والمياه فى حالتها السائلة لا لون لها ولا طعم ولا رائحة. وتختلف الخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه وفقا لكمية الأملاح المذابة من كلوريدات وبيكربونات وكبريتات لأملاح الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم ونظرة عابرة لطبيعة مياه البحار والمحيطات المالحة من حولنا، تظهر لنا بعض الأمثلة لمياه البحار المالحة والتى لا تصلح للاستخدام البشرى بصورة مباشرة.

وينفرد هذا الكتاب بكشف النقاب عن مصادر المياه والطرق والتكنولوجيات الحديثة المستخدمة فى تحويل المياه المالحة والمرتفعة الملوحة إلى مياه صالحة للشرب والاستخدامات البشرية وفى الزراعة والتطبيقات الصناعية (طرق إعذاب المياه). ويقدم الحلول المثلى لتوفير مياه الشرب للمناطق المختلفة باستخدام طرق إعذاب المياه المناسبة وفقاً لتوافر الطاقة وأنواعها وملوحة مياه المصدر سواء كانت مياه بحار أو آبار شاطئية أو آبار مياه زاعقة.

ويقدم الكتاب كذلك شرحاً للأسس الاقتصادية لاختيار التكنولوجيات التى تحقق الإنتاجية المطلوبة بأقل قدر من الطاقة المستخدمة ودون التسبب فى أى تلوث بيئى.

ولا يسع المؤلف إلا أن يتقدم بخالص الشكر والعرفان للكاتب والأديب الكبير الأستاذ سليمان فياض لتفضله بالمراجعة اللغوية للكتاب.

المحتـــويات

الصفحة

تعريفات

مقدمة : اصبح توفير المياه العذبة للشرب والاستخدامات المختلفة، فى عدد كثير من دول العالم، أحد التحديات المستمرة لبرامج التنمية فى المناطق الساحلية والصحراوية التى تقع بعيدا عن مصادر المياه الطبيعية من أنهار وآبار عذبة. ومن مراجعة الإحصائيات الحديثة لمصادر المياه فى جمهورية مصر العربية نجد أن هذه المصادر محدودة ومحددة بحصة من مياه نهر النيل لا تتجاوز فى الوقت الحالى، وفقا للاتفاقيات الدولية ٦٠ مليار متر مكعب سنويا. يضاف إلى ذلك مصادر المياه الجوفية والآبار المتاحة، والتى قد لا تصلح بصورة مباشرة للاستخدام الآدمى أو الزراعة. ويعتبر الامتداد السياحى، وتنمية السواحل وإعداد مراكز صناعية لجذب السكان والسياحة، من القضايا الأساسية التى تعتمد على توافر مصادر للمياه، بمعدلات تتماشى مع الاستهلاكات المتوقعة. وفى سبيل تحقيق ذلك فإننا نجد أن إعذاب المياه، هو أحد البدائل المطروحة لتوفير المياه. وتتعدد الطرق المستخدمة لإعذاب المياه وفقاً للتطبيقات الاقتصادية فى ظروف الموقع، ودرجة ملوحة المياه، وإنتاجية المحطة، والاستهلاك اليومى، وتوافر مصادر الطاقة، وتكاليف نقل المياه النقية والطاقة من الموقع وإليه (١-٤).

١ ـ طبيعة المياه : Nature & Water

المياه هى الشريان الرئيسى للحياة، وتظهر فى صورة الأنهار العذبة، والجداول والآبار، ومياه المحيطات والبحار، ومياه الأمطار. والمياه فى حالتها السائلة لا لون لها ولا طعم ولا رائحة. وتختلف الخواص الفيزيائية والكيمائية للمياه وفقا لكمية الأملاح المذابة وهذه الأملاح المذابة تتكون فى الغالب من كلوريدات وبيكربونات وكبريتات لأملاح الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم، وفى العادة تقاس فى مجموعها كنسبة إلى كمية المياه الحاملة لها كجزء بالمليون. بمعني أنه يوجد بكل مليون جزء من المياه كذا جزء من الأملاح المذكورة فى الجدول التالى. ونظرة عابرة لطبيعة مياه البحار والمحيطات المالحة من حولنا، تظهر لنا بعض الأمثلة للمواصفات العامة لمياه البحار المالحة، وذلك على النحو التالى:

جدول ١ : مواصفات مياه البحار والمحيطات المالحة (٥)

البند	المواصفات الغالبة
الأملاح الذائبة TDS	٤٥٠٠٠ - ٤٧٠٠٠ جزء فى المليون للبحر الأحمر ٣٢٠٠٠ - ٣٥٠٠٠ جزء فى المليون للبحر الأبيض
مؤشر الكثافة الرغوية	لا يزيد عن ٤ أجزاء فى المليون
ماغنسيوم	حوالى ١٦٠٠ جزء فى المليون
صوديوم	حوالى ١٥٢٠٠ جزء فى المليون
كالسيوم	حوالى ٥٦٠ جزءاً فى المليون
بوتاسيوم	حوالى ٥٣٠ جزءاً فى المليون
بيكربونات	حوالى ٢٠٠ جزء فى المليون
كلوريدات	حوالى ٢٧٠٠٠ جزء فى المليون
كبريتات	حوالى ٣٧٠٠ جزء فى المليون
الأس الأيدروجينى	حوالى ٢و٨ جزءاً فى المليون

وفى المتوسط نجد أن البحر الأبيض المتوسط ٣٥٠٠٠ جزء من الأملاح، لكل مليون جزء من المياه أو بمعنى آخر ٣٥ جراماً لكل كجم (لتر) من المياه. وللتيسير يمكن القول بأن اللتر من المياه المالحة قد يحتوى على ٣٥ جراماً من الأملاح. هذا بالنسبة لمياه البحر **SEA WATER**. أما مياه الآبار البعيدة عن الشواطىء والتى تتكون عادة من تسريب المياه الجوفية، وحركة هذه المياه، فإن الملوحة المتوقعة تكون فى حدود من ٢ إلى ١٠ جرام/لتر من المياه، وتسمى فى هذه الحالة بالمياه الزاعقة أو **BRACKISH WATER**. أما مياه الشرب الصالحة للاستخدام الإنسانى **POTABLE WATER** فان توصيات منظمة الصحة العالمية تنص على عدم زيادة تركيز الأملاح المذابة عن ٥٠٠ جزء بالمليون، أو ٥ و٠ جرام لكل لتر من المياه. والتدقيق فى هذه التعريفات أساسى جدا لمتابعة النظم المختلفة لإعذاب المياه، كما سيرد فيما يلى فى هذا الكتاب. وفى هذا المقام فإننا نعرف أحد المفردات المهمة فى إعذاب المياه ألا وهو المياه شديدة الملوحة الناتجة من عمليات التحلية **BRINE** وفى العادة يطلق هذا التعريف على مخلفت

عمليات التحلية من المياه شديدة الملوحة، والتى تزيد عن ٥٠٠٠٠ جزء بالمليون. ومما سبق نوجز فى جدول ب تعريفات المياه:

جدول ب: تعريفات المياه

مياه الشرب	<	٥٠٠ جزء بالمليون
مياه زاعقة	=	٢٠٠٠-١٠٠٠٠ جزء بالمليون
مياه البحار	=	٣٥٠٠٠-٤٧٠٠٠ جزء بالمليون
مخلفات التحلية	>	٥٠٠٠٠ جزء بالمليون

ب : درجة العسر :

تتعدد طرق قياس وتعريف درجة العسر فى المياه [١٣] من نظام دولى للقياسات إلى نظام آخر فمثلا وحدة درجة العسر بالنظام الألمانى تعادل ذوبان ١٠ جرامات من أكسيد الكالسيوم **CaO** مذابة فى لتر من المياه. وفى النظام الفرنسى تعرف بأنها تعادل ذوبان ١٠ جرامات من كربونات الكالسيوم **CaCO3** فى لتر من المياه. وبالطبع يمكن التحويل من نظام وحدات إلى آخر.

جـ: درجة القلوية :

تعرف بأنها عدد السنتيمترات المكعبة من حامض الهيدروكلوريك العادى التى يجب إضافتها إلى كل ١٠٠ سنتيمتر مكعب من المياه، قبل أن يتغير كشاف مؤشر اللون من اللون الأحمر النبيتى إلى دون لون.

د: الرقم الحامضى:

تعتمد الحامضية للمياه على درجة تركيز أيونات الأيدروجين المذابة به، ويبلغ التركيز فى المياه الطبيعية ١٠-٧ مول/لتر عند ٢٣ درجة مئوية. ويستخدم سالب اللوغاريتم بدلا من التركيز بالمول أى الرقم ٧ كمؤشر للرقم الحامضى، أو الأس الأيدروجينى. ويتراوح الرقم أو الأس الأيدروجينى بين صفر و ١٤. فإذا ما كان الأس:

أقل من ٧ فهو حامضى.

يساوى ٧ فهو متعادل.

أكبر من ٧ فهو قلوى قاعدى.

هـ : المقاومة والموصلية الكهربائية:

تقاس المقاومة النوعية بغمر الكترودين من البلاتين فى السائل المراد قياسه. وتقاس وحداتها بالأوم سم. والموصلية الكهربائية هى مقلوب المقاومة النوعية، ووحداتها تقاس بالميكرو سيمنس.

الموصلية الكهربائية ميكروسيمنس = ١٠ $^{+6}$ /(المقاومة النوعية أوم سم)

فمثلا وجود ملح مذاب بتركيز واحد جرام لكل لتر يعادل ٢ ميكروسيمنس، أى أن المياه ذات الملوحة ٣٥٠٠٠ جزء بالمليون (٣٥ جرام/لتر) لها موصلية كهربائية حوالى ٧٠ ميكروسيمنس.

ويوضح شكل (١) نسب الملوحة فى المياه بصفة عامه والنظم المستخدمة للتحلية.

وتعتمد الخطط التنموية للدول العربية على تنمية المناطق الساحلية والصحراوية، ذات الاهتمامات السياحية والتعدينية والصناعية، لتهيئة الفرص للاستقرار السكانى، وتدعيم خدمات البنية الأساسية ومنها بصفة أساسية مصادر مياه الشرب والطاقة،

مجال تقطير المياه للأغراض الطبية و الصناعية

المياه المقطرة ٥٠ جزء بالمليون

مياه الشرب ٥٠٠ جزء بالمليون

مجال إعذاب المياه للشرب والأنشطة الغذائية

مياه الآبار ٢٠٠٠ _ ٥٠٠٠ جزء بالمليون

المياه الزراعية ٢٠٠٠ _ ١٠٠٠٠ جزء بالمليون

مياه البحار ٣٥٠٠٠ _ ٤٧٠٠٠ جزء بالمليون

مخلفات عمليات إعذاب المياه

محلول ملحى أكبر من ٧٠٠٠٠ جزء بالمليون

شكل (١) : نسب الملوحة فى المياه

وهما جناحا التنمية الحقيقية والاستقرار.

وتتركز احتياجات المياه فى المناطق الصحراوية والساحلية ذات درجات الحرارة المناخية المرتفعة، التى تبلغ فى بعض المناطق ٤٥ درجة مئوية، مع رطوبة نسبية قد تصل إلى ٨٠٪ مما يضاعف الإحساس بالحرارة واحتياجات المياه. وتظهر تأثيرات المياه على البيئة والمجتمع فى الأمثلة الأولية التالية.

١ ـ المياه هى شريان الحياة للإنسان والحيوان والنباتات والفاكهة، ويستغلها الإنسان للشرب والاغتسال والأغراض الأخرى الصناعية وخلافه.

٢ ـ يتأثر أداء وحدات إنتاج المياه العذبة بملوحة المياه، ونوعيتها، وموقع بئر المياه الزاعقة، أو بئر الشاطئ للمياه المالحة.

الفصل الأول

مصادر المياه المختلفة وإتاحتها

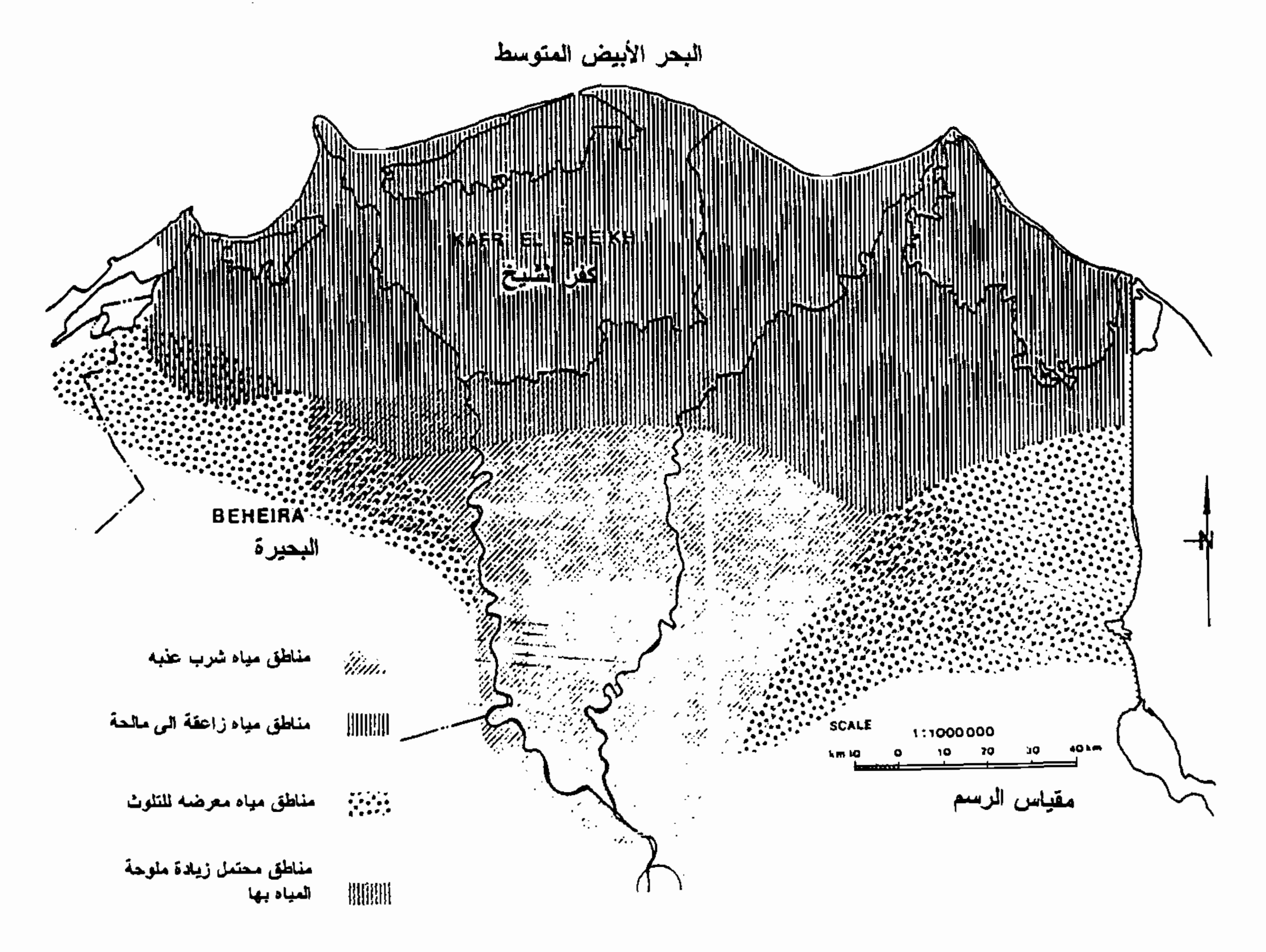
تتنوع مصادر المياه المتاحة على وجه الأرض، ويمكن تقسيم هذه المصادر إلى أنواع: الأنهار - البحار - الآبار - الأمطار .....

إن مصر هبة النيل هذا هو أول درس تعلمناه نحن وآباؤنا وأجدادنا، منذ قرون بعيدة، وقد كان من نتائج وجود هذا النهر العظيم تكدس النمو السكانى والتجمعات العمرانية فى وادى النيل، حيث يتركز أكثر من ٩٦٪ من السكان والأنشطة، فى ٤٪ فقط من مساحة مصر.

ومع التطور الكبير والنمو الحضارى الذى تشهده مصر، خلال النصف الثانى من القرن العشرين أولت الدولة عناية خاصة لتوفير مصادر بديلة للمياه للخروج من الوادى الضيق إلى الصحراء، لمحاولة غزوها وإقامة مجتمعات منتجة، حيث أقيم عديد من المدن والمجتمعات الجديدة فى شمال ووسط وجنوب الوادى، مع تشجيع الأفراد والجماعات على الهجرة الداخلية، والاستثمار فى مشاريع زراعية وصناعات بيئية صغيرة.

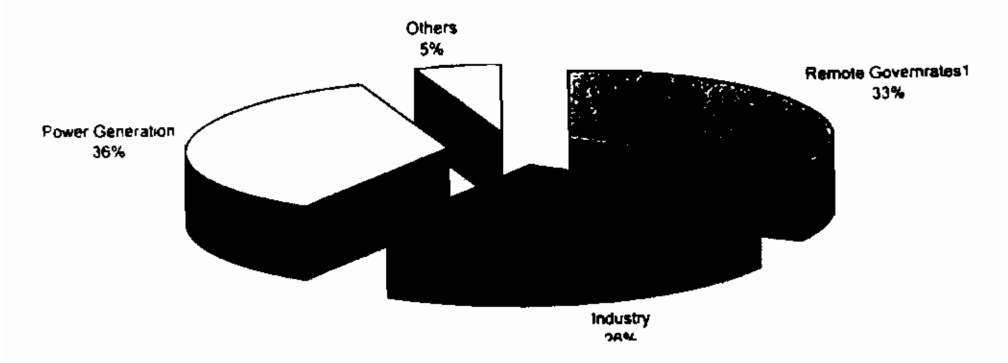
وتوضح الخريطة بشكل (١ - ١) التوزيعات المختلفة للمياه ودرجات الملوحة ومناسبة المياه للأنشطة البشرية المختلفة (٥-٦)، ومما هو جدير بالذكر أن النقص العام فى موارد مياه الشرب سيصل إلى ٢ مليون متر مكعب / يوم عام ٢٠٠٠ وذلك لتلبية احتياجات أنشطة الدولة من المياه، فى القطاعات المختلفة.

ويوضح شكل (١ - ٢) متوسط متطلبات المياه المزال ملوحتها فى الفترة ٨٧ - ٩٠ و٩٠ - ٩٥ و١٩٩٥ إلى عام ٢٠٠٠.

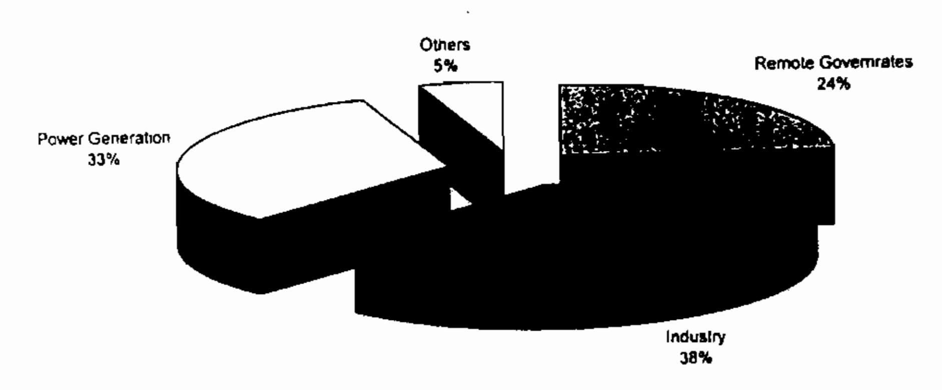


شكل (١٠١) : توزيعات المياه وملوحتها فى منطقة الدلتا . مصر

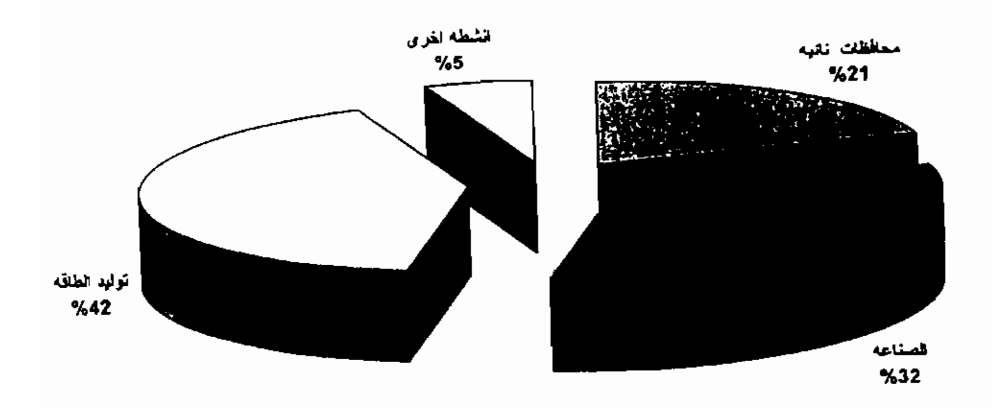
متطلبات إعذاب المياه فى مصر فى الفترة ٨٧ـ ٩٠
الإجمالى ٦١٨٠٠ متر مكعب/يوم



متطلبات إعذاب المياه فى مصر فى الفترة ٩٠ـ ٩٥
الإجمالى ٩٤٤٥٠ متر مكعب/يوم



متطلبات إعذاب المياه فى مصر فى الفترة ٩٥ـ ٢٠٠٠
الإجمالى ٩٥٧٥٠ متر مكعب/يوم



شكل ١ـ٢ : متوسط متطلبات المياه المزال ملوحتها ١٩٨٧ـ ٢٠٠٠

أولا : كانت متطلبات توليد الطاقة حوالى ٣٦٪ من احتياجات المياه فى المتوسط خلال ٨٧ - ٩٠ بينما وصلت النسبة إلى ٤٢٪ خلال الفترة الحالية وحتى عام ٢٠٠٠.

ثانيا : كانت متطلبات الصناعة حوالى ٢٦٪ فى الفترة ٨٧ - ٩٠ وأصبحت ٣٣٪ خلال الفترة الحالية.

ثالثا : واحتل احتياجات المحافظات الساحلية والصحراوية النائية حوالى ٢٠٪ من الإجمالى القومى هذا العام مقارنة بنسبة ٣٣٪ عام ١٩٨٧.

تعتمد الخطط التنموية للدول العربية على تنمية المناطق الساحلية والصحراوية، ذات الاهتمامات السياحية والتعدينية والصناعية لتهيئة الفرص للاستقرار السكانى، وتدعيم خدمات البنية الأساسية، ومنها بصفة أساسية مصادر مياه الشرب والطاقة، وهما جناحا التنمية الحقيقية والاستقرار. ويوضح الجدول (١ - ١) النقص المتوقع فى مصادر مياه الشرب المتاحة فى دول الشمال الأفريقى على سبيل المثال (مرجع رقم ١ باللغة العربية).

جدول (١-١) : النقص المتوقع فى المياه بدول شمال أفريقيا

(مليون متر مكعب/يوم)

الدولة / السنة	١٩٩١	٢٠٠٠	٢٠١٥	٢٠٢٥
الجزائر	١,١٠	١,٣٥	٤,٩٦	٢,٦٠
مصر	١,٢٠	٢,٠٥	١٢,٧١	١٠,٣٦
ليبيا	٠,٩٠	٠,٦٥	١,٥٦	١,٣٦
المغرب	٠,٠٢	١,٩٠	٣,٠٤	٣,١٦
تونس	٠,٠١	٠,٢٣	٠,٥٣	٠,٦٧

ويعانى عدد من دول الجوار العربى، وشبه الجزيرة العربية، مشكلة توافر المصادر الطبيعية للمياه الصالحة للشرب والزراعة، ومن قلة الأمطار وقسوة الأحوال المناخية، وسنورد فيما يلى موجزا لإحدى الدراسات العامة عن أزمة المياه (مرجع ١ - ٢ باللغة العربية).

ويوضح جدول (١ - ٢) احتياجات المياه العذبة والإنتاج فى المملكة العربية الشقيقة [٣] حتى عام ٢٠٠٠، وذلك بالمليون متر مكعب / سنة.

جدول (١-٢) : احتياجات المياه العذبة والإنتاج فى المملكة العربية الشقيقة (١٩) حتى عام ٢٠٠٠، وذلك بالمليون متر مكعب/سنة

المصدر	١٩٨٠	١٩٨٥	١٩٩٠	٢٠٠٠
غير متجدد	٣٤٥٠	٣٤٥٠	٣٤٥٠	٣٤٥٠
متجدد	١١٤٥	١١٤٥	١١٤٥	١١٤٥
تحليه المياه	٦٣	٦٠٥	٧٩٤	١١٩٩
فواقد	-	١٤٠	٣٣٥	٧٣٠
الاستخدامات				
الحضر والصناعة	٥٠٢	٨٢٨	١٢١١	٢٢٧٩
الريف	٢٧	٢٨	٣١	٣٨
الزراعة المروية	١٨٣٢	١٨٧٣	٢٣٤٥	٣٢٢٠

فمثلاً على الرغم من سقوط الأمطار فى المملكة العربية السعودية إلا أنها موزعة فى مناطق متفرقة وشاسعة المساحات وتتحول إلى مياه جوفية وبخر متكرر. وتبلغ كمية المياه الجوفية المتاحة حوالى ٢ مليار متر مكعب. ويوجد بالمملكة عديد من محطات إعذاب لمياه البحار والآبار، ويتم نقل المياه فى شبكة كبيرة من خطوط المواسير. وتشمل خطة المملكة تحسين وتنميه المصادر المائية، وتحديث الآبار، وبناء السدود إلى جانب إقامة محطات التحلية الحديثة حيث تزيد الإنتاجية الحالية للمياه المزال ملوحتها عن ١٢٠٠ مليون مكعب فى العام الواحد.

وفى دول الخليج العربى نجد أن مشكلة المياه تحتل موقعاً مهماً فى استراتيجية الأمن القومى لكل دولة حيث إنها العصب الأساسى للحياة. وفى الكويت تبلغ إنتاجية محطات إعذاب المياه من المياه المالحة، أكثر من ٣٧٠ مليون متر مكعب فى العام.

وتعتمد دولة قطر إلى حد كبير على المياه الجوفية، وتستخدم حوالى ١١٢ مليون متر مكعب سنوياً، وتبلغ قيمة تحلية المياه حوالى ٧٠ مليون متر مكعب فى العام من محطات راس أبو فنطاس وراس أبو عبود.

تعانى دولة الإمارات العربية من مشكلة توافر المياه، وتبلغ إنتاجية محطات الإعذاب

حوالى ١٦١ مليون متر مكعب فى العام، وتبلغ كمية المياه السطحية والجوفية المستغلة نحو ٨٨٦ مليون متر مكعب فى العام. وفقاً لإحدى الدراسات التخصصية الحديثة(١٨). ويزيد عدد المحطات القائمة بالإمارات عن ٤٠ محطة. ومن المحطات الكبيرة القائمة محطة أم النار فى إمارة أبو ظبى، وسيرد تفصيل معدلات أدائها فيما بعد. وتزيد نسبة المياه المزال ملوحتها عن مليون ونصف مكعب يوميا. وفى سلطنة عمان أظهرت الدراسات (١٨) إنتاج حوالى ١٥ مليون متر مكعب سنويا، تكفى الاستهلاك المحلى بالكاد.

خاتمة :

ومن العرض السابق يتضح لنا أهمية وضع استراتيجية عربية لمعالجة نقص المياه بصفة عامة وتبادل الخبرات الفنية فى إنشاء وإدارة محطات إعذاب المياه، ودراسات الجدوى الاقتصادية للتوليد المزدوج، واقتصادية نقل المياه بشبكات من المواسير. ولايفوتنا فى هذا المقام التأكيد على أهمية التصنيع المحلى لوحدات إعذاب المياه بالوطن العربى، وقد بدأت مصر منذ السبعينيات خطة طموحة لإنتاج وحدات صغيرة مجمعة لتحلية مياه البحار (٤-٥) وذلك من خلال وحدات نمطية قابلة للإضافة والتوسع، ذات سعات تبدأ من ١٠ متر مكعب/يوم إلى ١٠٠ متر مكعب/يوم. وفى الثمانينيات من هذا القرن بدأت محاولات بعض الشركات الخاصة بالمملكة العربية السعودية تصنيع بعض الوحدات الصغيرة من نوع الأسموز العكسى.

ومما هو جدير بالذكر أن سعة الوحدات المطلوبة تختلف من حيث النوعية والجدوى الاقتصادية، وفقا للإنتاجية وللملوحة المصدر، وتوافر مصادر الطاقة، وبالتالى فإن الحجم الأمثل لوحدات إعذاب المياه يختلف من موقع إلى آخر.

الفصل الثانى

تحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للاستخدام البشرى

مقدمة :

تتضافر كل الجهود العلمية والتكنولوجية لتلبية احتياجات التنمية البشرية والعمرانية، . . التى تعتمد فى المقام الأول على الإنسان كركيزة للتقدم والتطور والبناء. وكما أوضحنا سالفا (فى الفصل الأول) فإن الاحتياجات المتزايدة للمياه الصالحة للشرب وللأنشطة البشرية فى مختلف ربوع العالم تمثل مشكلة تقنية كبيرة حيث إن كميات المياه الصالحة للشرب مازالت أقل بكثير عن تلبية الاحتياجات البشرية، على الأقل فى الدول النامية، وتلك الدول التى عند حد الفقر.

وتعتمد الطرق المعروفة والمستخدمة لتحلية المياه على إزالة الملوحة الزائدة من المياه وتحويلها، إما إلى مياه صالحة للشرب فى المناطق الصحراوية والساحلية وإما لإقلال نسبة الملوحة، واستخدامها لرى بعض المحاصيل، أو فى مياه العمليات الصناعية المختلفة.

وكما سيرد ذكره فى الفصل الثالث فإن هناك ثلاثة محاور أساسية لإعذاب المياه ويهمنا فى هذا الفصل توجيه القارئ إلى الأنواع المختلفة من مصادر المياه وكيفية تبويبها، والتعامل معها واختيار تكنولوجيات التحلية المناسبة.

فلنحاول أولا الإجابة عن السؤال : ما التكنولوجيا المناسبة لتحلية المياه؟ وللإجابة، لابد من معرفة ما يلى :

- ظروف الموقع الجغرافى.
- تحليل المياه المتاحة (مياه بحار - بحيرات - مياه آبار . . .).
- الأنشطة السكانية والتنموية المختلفة.
- نمط الاستهلاك الحالى والمتوقع خلال العشرين عاما التالية.
- امكانية التصنيع المحلى والتكنولوجيات المتاحة لهذا المجتمع.
- مصادر المياه المالحة ومدى ثبات التركيب الكيميائى والطبيعى لها.
- مصادر الطاقة التقليدية المتاحة.
- مصادر الطاقة البديلة المتاحة (شمس - رياح - الخ).

ومن معرفة المعلومات عن هذه الأمور، فإنه يمكننا تحقيق أكبر قدر من المرونة والاختيار الاقتصادى السليم بأعلى اعتمادية، لتلبية احتياجات المجتمع من المياه العذبة.

وتتيح هذه البيانات عند توافرها ما يلى :

١ - استخدام الحرارة المفقودة من محطات القوى البخارية، مثلا كمصدر حرارى لتحلية المياه بطرق البخر الوميضى، متعدد المراحل، مثل عديد من المناطق فى المملكة العربية السعودية.

٢ - الاستخدام المباشر لأى من الطاقة الكهربائية المتاحة لتشغيل المضخات اللازمة.

٣ - استخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، كمصدر للطاقة لتشغيل المضخات وكمصدر حرارى لنظم تحلية المياه.

٤ - استخدام الطاقات الجديدة والمتجددة كنظام تبادلى لدعم النظم التقليدية.

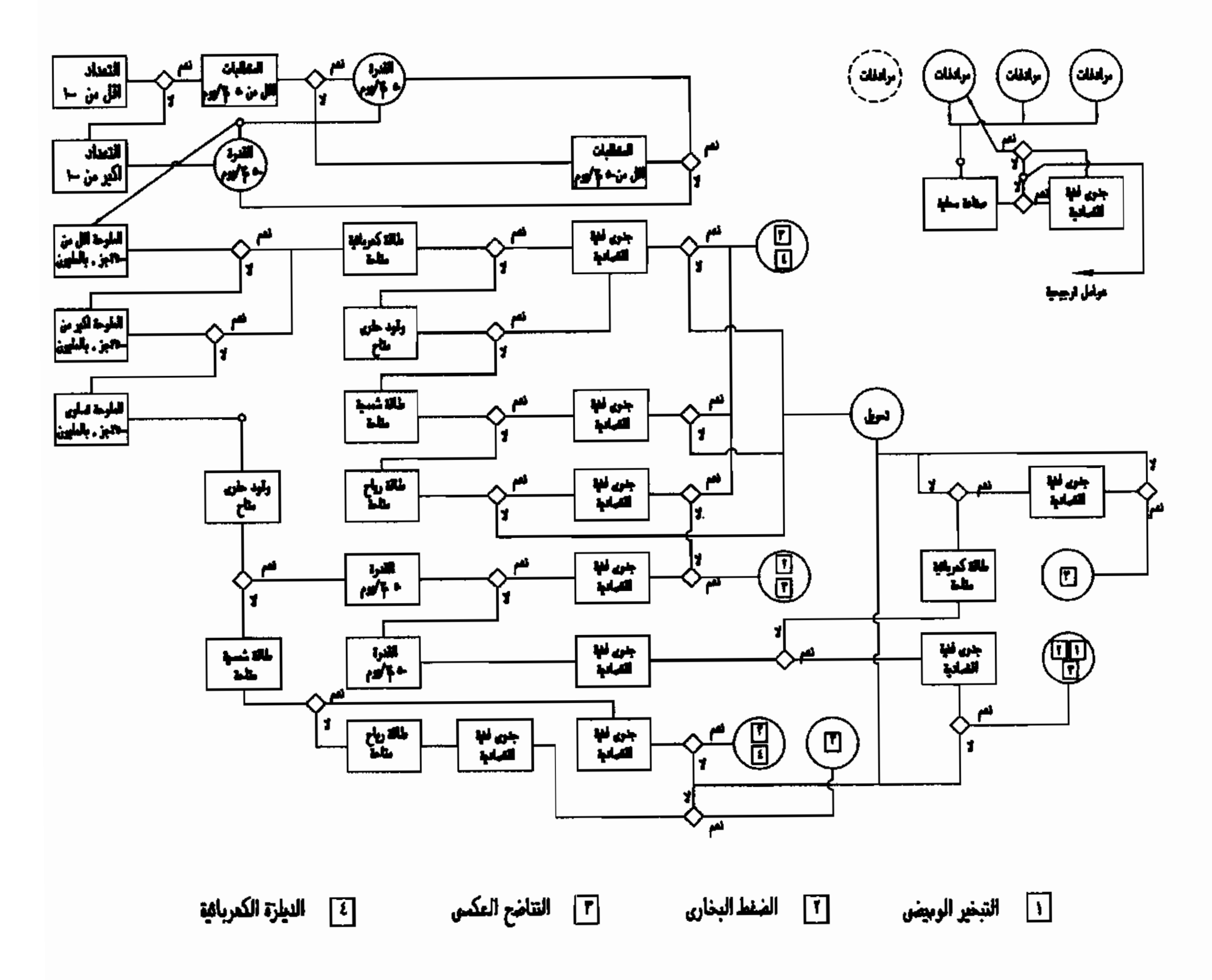
وكما سيأتى سرده تفصيلا فى الفصل الثالث، فإن طرق تحلية المياه الأساسية، الأكثر انتشارا فى العالم هى:

١ - تحلية المياه بالاعتماد على تغيير حالة المياه المالحة مثل التبخير الوميضى، والتبخير المرحلى، وضغط البخار.

٢ - تحلية المياه باستخدام الأغشية، مثل التناضح العكسى، الديلزة الكهربائية.

ويوضح الشكل (٢ - ١) : مخططاً منطقياً لاختيار النظم المختلفة، لإعذاب المياه ويأخذ هذا المخطط فى الاعتبار (٦):

- عدد السكان.
- معدلات الاستهلاك وفقاً لمستوى المعيشة بالدولة.
- تركيز ملوحة المياه المتاحة بالمنطقة.
- إتاحة الوقود الحفرى.



شكل (٢-١) : مخطط منطقى لاختيار نظم إعذاب المياه

- إتاحة الطاقة الشمسية.
- إتاحة الطاقة الكهربائية.

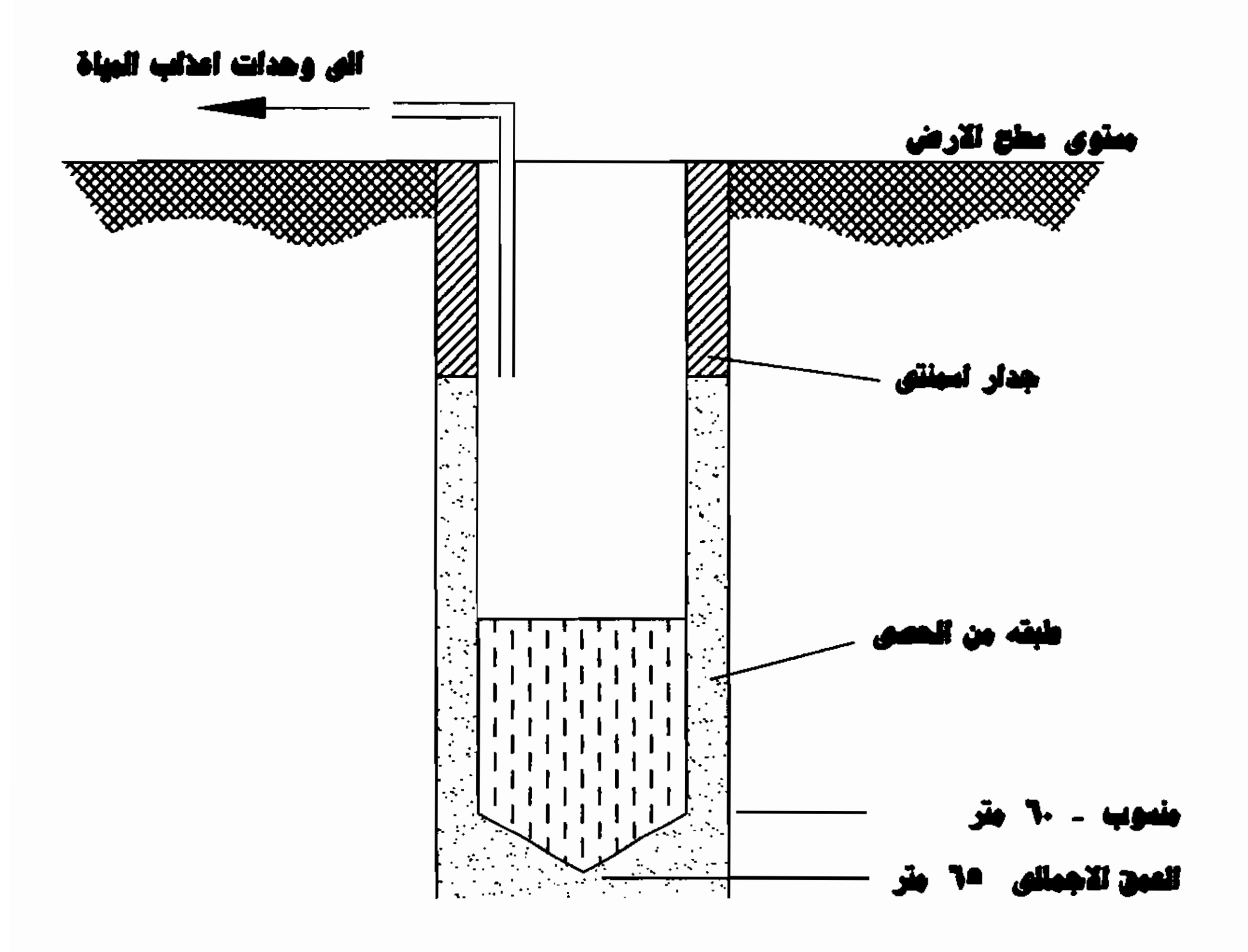
ولاختيار التكنولوجيا المناسبة لمعدل استهلاك فى حدود ١٠٠٠ متر مكعب/يوم، يتم تحديد إتاحة الطاقة الكهربائية فإذا كانت متاحة ينصح بدراسة استخدام التناضح العكسى مباشرة، وإذا لم تتح الكهرباء للتشغيل نتجه إلى الوقود الحفرى، وفى حالة توافره اقتصاديا يتم ترشيح نظام التبخير بالضغط البخارى. وفى حالة توافر مصادر الطاقة المتجددة كالشمس أو الرياح يتم استخدام هذه الطاقة لإعذاب المياه.

أما إذا ما زاد الاستهلاك المتوقع عن ١٠٠٠ متر مكعب/يوم وكان أقل من ٣٠٠٠ متر مكعب/يوم وتوافرت مصادر الوقود الحفرى والكهرباء تمت دراسة جدوى التبخير الوميضى المتعدد المراحل والتناضح العكسى، حسب توافر مصدر الطاقة. وفى حالة

عدم توافر أى من مصادر الطاقة اقتصادياً، يتم اللجوء إلى نقل المياه من خلال خطوط الأنابيب كما هو متبع مثلا فى خطوط الجبيل - الرياض، أو ينبع - المدينة بالمملكة العربية السعودية أو الإسكندرية - مرسى مطروح فى جمهورية مصر العربية . .

وفى حالة زيادة معدل الاستهلاك عن ٣٠٠٠ متر مكعب / يوم، فإنه يجب دراسة الموقع بالكامل فى ضوء المتغيرات الأخرى. أما بالنسبة لأهمية مؤشر تركيز ملوحة المياه المغذاة للمحطة، فإنه عندما تقل هذه الملوحة عن ١٠٠٠ جزء بالمليون، كما فى حالات المياه الجوفية والسطحية، يتم ترشيح المياه كيميائيا وتنقيتها. وعندما تقل نسبة الملوحة عن ٢٠٠٠ جزء بالمليون، وتتوافر الطاقة الكهربائية، يستخدم الديلزة الكهربائية مباشرة. وفى حالة توافر الوقود الحفرى تستخدم الطرق الحرارية المعروفة. وإذا لم تتوافر مصادر الكهرباء أو الوقود الحفرى تستخدم الطاقة الشمسية للتبخير أو طاقة الرياح مع التناضح العكسى. وبالتأكيد يتم نقل المياه فى خطوط الأنابيب فى حالة عدم توافر أى من مقومات نظم التحلية التقليدية. وعندما تتوافر مياه البحار فقط وبملوحة قد تصل إلى ٤٥٠٠٠ جزء بالمليون، فإن المصمم لا يجد خيارات متعددة إلا باللجوء إلى التناضح العكسى، والتبخير الوميضى، وضغط البخار كطرق أساسية وتقليدية لتكنولوجيات معروفة ومتاحة على المستوى التجارى وسبق تأكيد جودتها وإمكانية الاعتماد عليها كمصدر أساسى لتحلية المياه.

يتم اختيار البئر الشاطئ بمواصفات خاصة، ويوضح الكروكى شكل (٢ - ٢) الخطوط الرئيسية لتصميم بئر الشاطئ، والعلاقات النسبية بين العمق والمواد المستخدمة فى البئر. وتتضح أهمية اختيار البئر فى تأثيره المباشر على أداء المحطات، حيث يتسبب الارتفاع المفاجئ لملوحة بئر الشاطئ فى التأثيرات بالسلب على أداء المحطة، سواء كانت من النوع الذى يعمل بالأغشية أم كانت من النوع الذى يعمل بالتبخير. وقد يتسبب الاختيار الخاطئ للبئر فى سحب مياه ذات عكارة مرتفعة مما يتسبب فى انسداد المرشحات الدقيقة بمعدلات مرتفعة.



شكل (٢-٢) : تصميم البئر الشاطئ

الفصل الثالث

الطرق التقليدية لتحلية المياه

هناك عديد من الطرق التكنولوجية لتحلية المياه ولتقليل ملوحة المياه، أو إزالتها كلية إلى الحدود المسموح بها. ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى:

١ - إعذاب المياه بالاعتماد على تغيير حالة المياه المالحة.

٢ - إعذاب المياه باستخدام الأغشية.

٣ - إعذاب المياه باستخدام طرق المعالجة الكيميائية.

أ : طرق إعذاب المياه بالتقطير :

يعتبر أسلوب التقطير أحد أقدم الوسائل المعروفة فى العالم منذ قديم الأزل لاستخلاص الماء العذب من الماء المالح، فمن المعروف أنه عند غليان الماء فإن بخار الماء الناتج يتصاعد لأعلى لصغر كثافته، تاركا خلفه الأملاح التى كانت مذابة سابقاً فى محلول الماء المالح.

وفى هذه العملية يتم تسخين المياه أولا من درجة حرارة الجو المحيط إلى درجة الغليان، ثم يتم تبريد هذا البخار المتصاعد. وهذا التبريد يتسبب فى إعادة البخار إلى الحالة السائلة بتكثيفه إلى ماء عذب. ويجدر الإشارة إلى أن عملية فصل الأملاح المذابة من الماء المالح تمت بتغيير الطور، من الحالة السائلة إلى الغازية، ثم إعادتها إلى الحالة السائلة مرة أخرى.

وتحتاج هذه العملية إلى مصدر حرارى خارجى، لرفع الطاقة الحرارية ويعتمد التحليل الاقتصادى لهذه العملية على كفاءة المعدات والتكلفة الفعلية للتشغيل. ومن المعتاد أن اختيار أنسب الطرق الحرارية بالتقطير يكون بعد دراسات موائمة بين الكفاءة والتكلفة.

عرف القدماء أسلوب تحلية المياه بالتقطير **DISTILATION** وينقسم بصفة عامة إلى:

- التبخير الأحادى والمتعدد المراحل **Single & Multi-Effect Distillation**
- التبخير الوميضى **Flash Distillation**
- التبخير بالضغط البخارى **Vapour Compression Distillation**
- التقطير بالطاقة الشمسية **Solar Stills Distillation**

وتختلف هذه الطرق فى المبدأ الأساسى لطريقة العمل، وتتفق فى أن الماء يتم تبخيره ثم تكثيفه.

أولا : التبخير الأحادى والتبخير متعدد المراحل
SINGLE & MULTI- EFFECTIV EVAPORATION

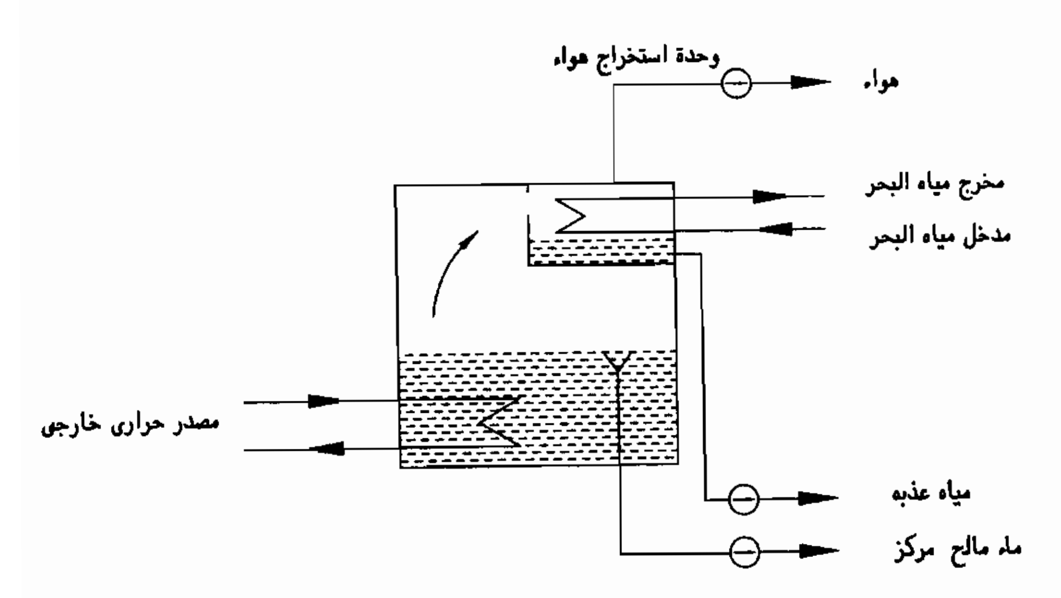
ويوضح المخطط بشكل (٣ - ١) العمليات الأساسية المطلوبة والمعدات التى يتم بها فصل الملح من الماء بالتقطير الأحادى.

يتم إدخال مياه البحر فى سطح تبادل حرارى رقم (أ) لتسخين المياه داخل المبادل عن طريق الحرارة المفقودة، نتيجة تكثيف البخار المتصاعد خارج المبادل. وتتكون الوحدة من غرفة كبيرة بها كمية من مياه البحر، يتم تسخينها بواسطة تسخين خارجى (مرجل مستقل أو من خلال محطة توليد طاقة). ونتيجة للحرارة المضافة إلى ماء البحر فإن كمية منه يتم تبخيرها، وتتصاعد فى صورة بخار ماء عذب مخلفة وراءها الأملاح بالقاع. ويتم امرار البخار المتصاعد على المبادل الحرارى الأول (أ) فيفقد جزءا كبيرا من الحرارة، ويتحول إلى الحالة السائلة، ويتم تجميعه فى الحوض (ج) الموضوع أسفل سطح التبادل الحرارى (أ).

ومع استمرار عمل الوحدة يتزايد باستمرار تركيز الأملاح، داخل المحلول الملحى السائل، ويتم التخلص من المياه شديدة الملوحة، وإضافة مياه البحر مرة أخرى.

ويتم حساب كمية المياه العذبة المنتجة من خلال الاتزان الحرارى على مدخلات ومخرجات الوحدة على النحو التالى:

كمية المياه المتبخرة X الحرارة الكامنة للبخر + كمية الحرارة المفقودة مع المحلول الملحى = كمية الحرارة الخارجية المضافة.



شكل (٣-١) : وحدة إعذاب المياه ذات المرحلة الواحدة

وتكون كمية المياه العذبة المنتجة أقل قليلا من كمية البخار المستخدم كمصدر حرارى.

ولتحسين وزيادة معدل إنتاج المياه المزال ملوحتها، لكل كيلو كالورى من الطاقة المضافة، يتم استخدام مراحل متلاحقة تكرارية بدلاً من مرحلة أحادية، ويوضح شكل (٣ - ٢) التقطير متعدد المراحل، حيث يتبين أنه يتم تصعيد بعض البخار من مياه البحر، في المرحلة الأولى باستخدام مصدر حرارى خارجى:

- بخار من مرجل حرارى فى الغالب أو:
- بخار ثانوى محطات القوى الحرارية.

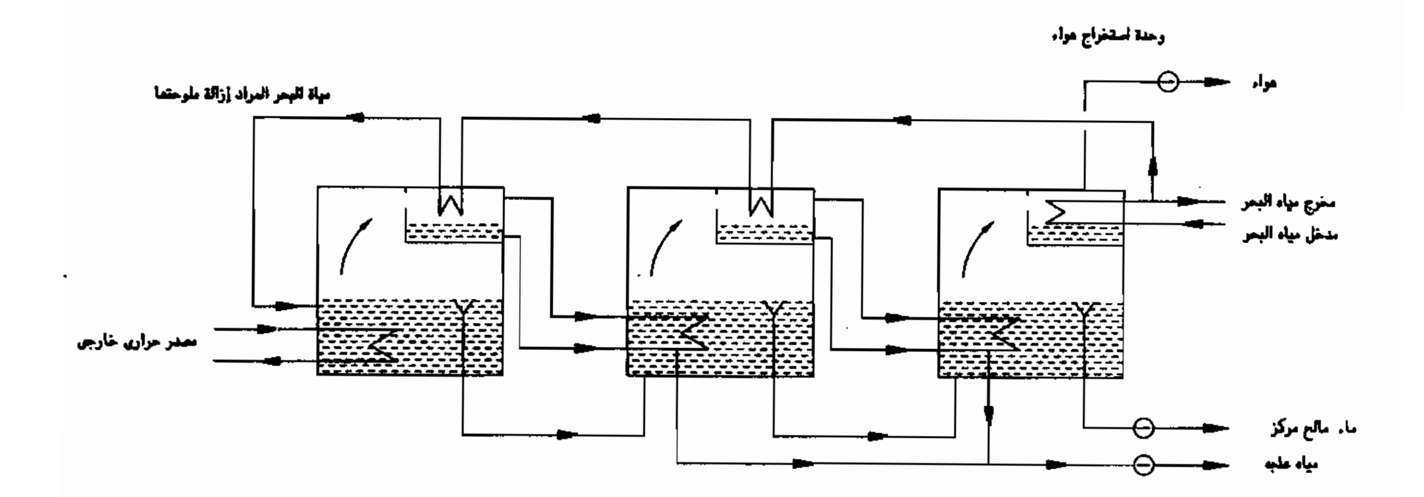
ويتم تكثيف هذا البخار المصعد، نتيجة استخدامه في المرحلة الثانية لتسخين وتبخير مياه البحر عند درجة حرارة أقل من تلك التى بالمرحلة الأولى، ويتم تصعيد بخار إضافى فى المرحلة الثانية (لاحظ أن تكثيف هذا البخار المصعد ينتج مياها عذبة، مزال ملوحتها). ومع تكرار هذه المراحل، تتكون مياه عذبة بمعدل أكبر، لكل وحدة طاقة خارجية مضافة، فمثلا يكون الوقود المستخدم لإنتاج واحد متر مكعب فى حالة المراحل الست حوالى ١٦ كجم على حين يتناقض إلى ٨ كجم فى حالة استخدام ثمانى مراحل.

ثانيا: التبخير الوميضى (الفجائى) الأحادى والمتعدد المراحل:
FLASH EVAPORATION SINGLE & MULTIPLE

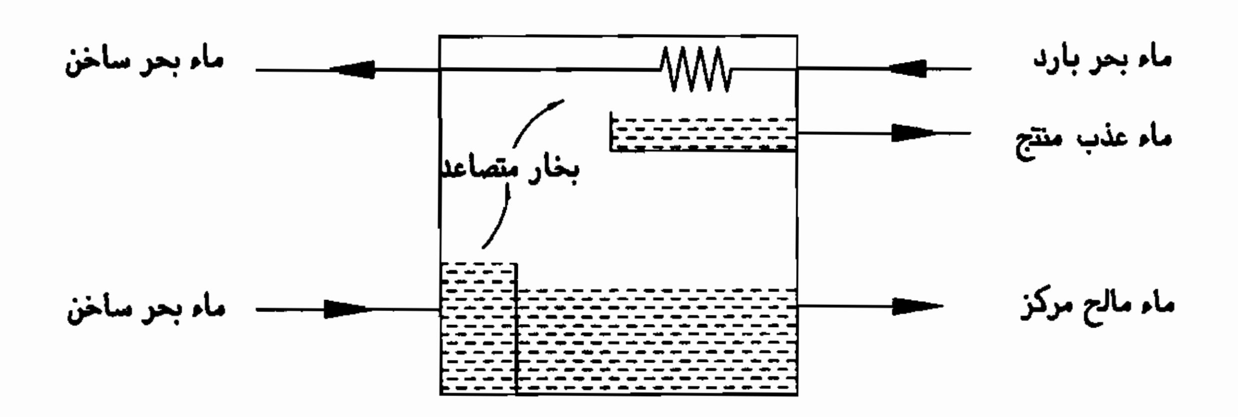
ويوضح الشكل (٣ - ٣) العمليات الأساسية المطلوبة والمعدات التى يتم فيها فصل الملح من الماء بالتبخير الأحادى المراحل.

يتم إدخال مياه البحر الساخنة إلى غرفة معزولة حرارياً. وفى حالة الاتزان بين الماء المالح وبخاره، عند درجة الحرارة (ت°) وضغط معين (ض) وعند دخول مياه البحر المالحة بمعدل سريان معين (س) ودرجة حرارة (ت١) أكبر من ت°، فإنه يتم تبخير وميضى لجزء من المياه المالحة قدره (ب) إلى بخار، وتنخفض درجة الحرارة إلى ت°. ويتم تكثيف هذه الكمية من البخار المتصاعد على حزمة من أسطح الانتقال الحرارى فى أعلى الغرفة، يمر فيها مياه البحر للتبريد.

ومع استمرار عمل الوحدة يتزايد باستمرار تركيز الأملاح داخل المحلول الملحى السائل، ويتم التخلص من المياه الشديدة الملوحة وإضافة مياه البحر مرة أخرى.



شكل (٢-٢) : وحدة إعذاب المياه ذات المراحل المتعددة



شكل (٢-٢) : وحدة إعذاب مياه ذات مرحلة تبخير وميضى واحدة

يتم استخدام مراحل وميضية متلاحقة تكرارية، بدلاً من مرحلة أحادية، ويوضح شكل (٣ - ٤) التبخير الفجائى المتعدد المراحل، حيث يتبين أنه يتم تصعيد بعض البخار من مياه البحر فى المرحلة الأولى عند ضغط ض[١] أكبر من ض. وتتم المحافظة على الضغوط المختلفة فى المراحل المختلفة للبخر الوميضى. ويتم تكثيف هذا البخار المصعد نتيجة استخدامه فى المرحلة الثانية لتسخين مياه البحر عند درجة حرارة أقل من تلك التى بالمرحلة الأولى. ويتم تصعيد بخار إضافى فى المرحلة الثانية عند ضغط أقل من المرحلة السابقة (لاحظ أن تكثيف هذا البخار المصعد ينتج مياها عذبة مزال ملوحتها). ومع تكرار هذه المراحل تتكون مياه عذبة، بمعدل أكبر لكل وحدة طاقة خارجية مضافة. فمثلا يكون الوقود المستخدم لإنتاج واحد متر مكعب لحالة ست مراحل حوالى ١٥ كجم، على حين يتناقض إلى حوالى ٥ كجم متر مكعب فى حالة استخدام ١٤ مرحلة.

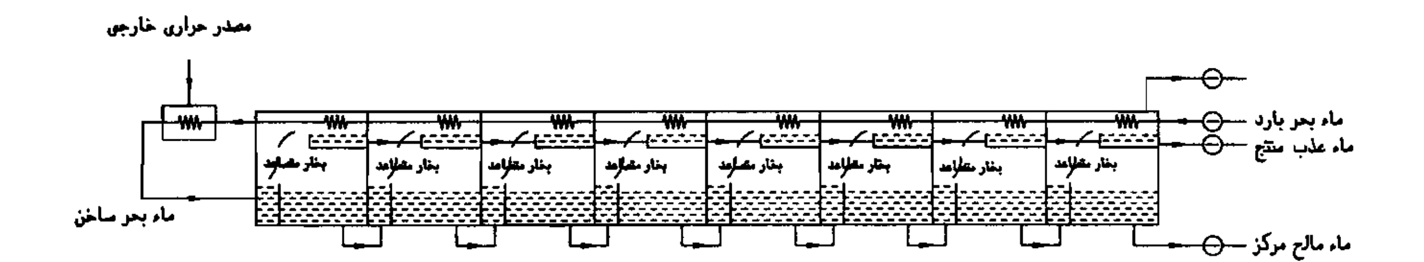
يهمنا هنا تحديد معامل الأداء: (د) تساوى كمية المياه العذبة / كمية المياه المالحة المستخدمة، وهى تتراوح بين ٣ إلى ٩و٥٪ وفقا لعدد المراحل، وتكنولوجيات الإعذاب من حيث إعادة استخدام المياه، وتنسيق مواسير المبادل الحرارى. وفى هذه الطريقة تزداد درجة حرارة ماء البحر المغذاة ارتفاعاً، أثناء مرورها عبر أسطح التبادل الحرارى فى المراحل المختلفة، فى الجهة المقابلة لمجرى السريان الوميضى. ويتم تجميع البخار المتكاثف (المياه المزال ملوحتها) فى أحواض مركبة تحت المكثفات، ويتم ضخ المياه خارج الوحدة.

وتعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق الحرارية مناسبة لإنتاج كميات كبيرة من المياه من ماء البحار، وإن كانت طرق الأغشية الحديثة تعتبر منافساً استراتيجياً قوياً.

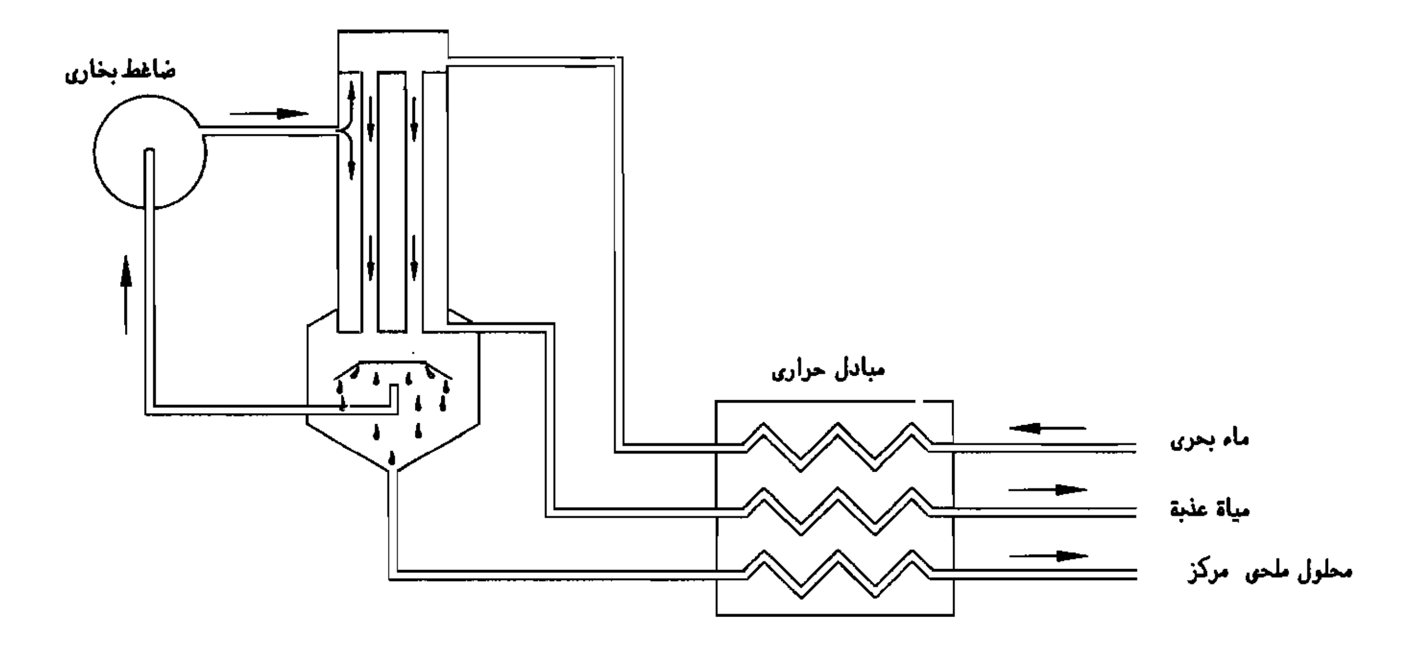
ثالثا : التبخير بالضغط البخارى:

VAPOUR COMPRESSION DISTILLATION

ويوضح الشكل (٣ - ٥) العمليات الأساسية المطلوبة، والمعدات التى يتم فيها فصل الملح من الماء بالتبخير بالضغط البخارى.



شكل (٢-٤) : وحدة إعذاب المياه بالتبخير الوميضى متعددة المراحل



شكل (٢-٥) : نظام إعذاب المياه بالضغط البخاري

يتم إدخال مياه البحر إلى مبادل حرارى رقم ١ ويتم تسخين المياه جزئيا، ويتم إدخاله إلى مبخر رقم ٢ حيث يتحول إلى بخار بواسطة الحرارة المنطلقة من تكثيف البخار المار على أسطح التبادل الحرارى الأنبوبية الراسية رقم ٢ .

ويتم سحب البخار الناتج فى المنطقة رقم ٣ إلى ضاغط ميكانيكى أو حرارى رقم ٤ بالشكل (٣ - ٥) ويتم استخدام هذه الطريقة فى المحطات الأرضية، وعلى المراكب، والسفن، وتكون مصادر الطاقة الخارجية مطلوبة فى الضاغط الرئيسى .

ومع استمرار عمل الوحدة، يتزايد باستمرار تركيز الأملاح داخل المحلول الملحى السائل، ويتم التخلص من المياه شديدة الملوحة وإضافة مياه البحر مرة أخرى . وكما هو موضح بالشكل، فإن المحلول الملحى المركز، والناتج من تكرار عملية إزالة الملوحة، يتم طرده من الوحدة، واستغلال الحرارة النوعية به لتسخين مياه البحر المدخلة إلى الوحدة فى المبادل رقم ١ .

ويوضح الشكل (٣ - ٦) تصميم مرادفاً للتبخير بالضغط البخارى، وإن كان يستخدم نظرية العمل ذاتها .

رابعا : التقطير بالطاقة الشمسية Solar Stills Distillation

الطاقة الشمسية المتجددة هى مجموعة من الطاقات المتوفرة فى الطبيعة من حولنا . ويمكن للإنسان استغلالها بصورة أو بأخرى، وهى طاقة غير محددة وليس لها مخزون . ونجد مثلا أن الطاقة الشمسية طاقة متجددة ذات مصادر لا نهائية وغير محددة، وهى طاقة فى صورة حرارية، ولا يحد من استخدامها الآن سوى العوامل التالية :

١ - التكلفة الاستثمارية للمعدات .

٢ - اقتصاديات التشغيل الأمثل .

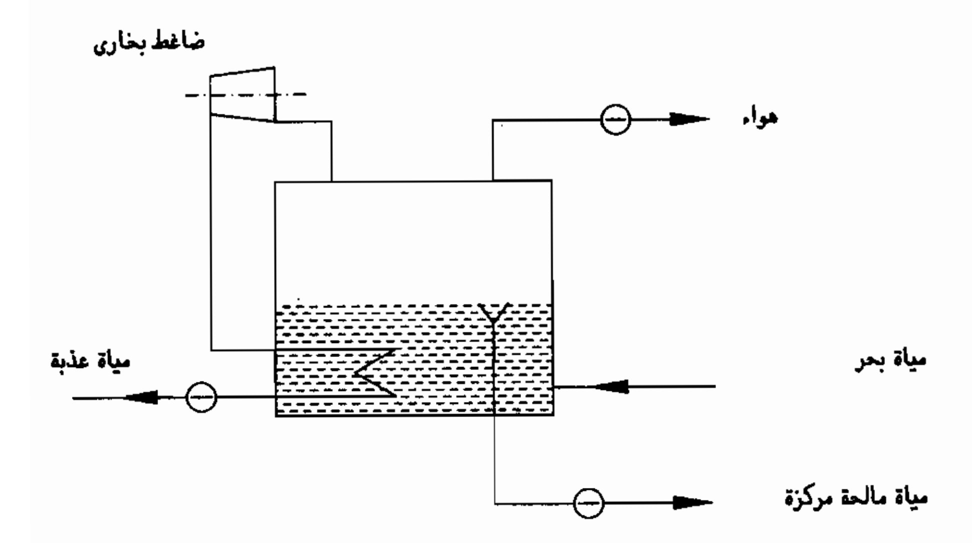
٣ - تقنيات التشغيل ومتابعة حركة الشمس .

٤ - الصيانة المستمرة للوحدات فى الأماكن الصحراوية .

٥ - التكنولوجيات المساعدة مثل التبريد وتكييف الهواء .

٦ - اقتصاديات إنتاج الطاقة الكهربائية .

وهى طاقة لا تؤثر على تلوث البيئة .



شكل(٣-٦) : وحدة تحلية مياه بضغط البخار

وتتلخص هذه الطريقة لإعذاب المياه فى وضع المياه المالحة داخل غرف مستوية ضحلة، مكونة من أسطح زجاجية مائلة. وعند نفاذ أشعة الشمس العمودية على الأسطح المائلة، كما بالشكل (٣ - ٧)، فإن المياه الموجودة بالحوض الضحل ذى القاعدة السوداء اللون تمتص أكبر قدر من الحرارة. ويتم التبخير الجزئى للماء الذى يتصاعد إلى أعلى نظراً لوجود فروق فى الكثافة، حيث يتم تكثيف هذا البخار المتصاعد على الأسطح المائلة، وينزلق على الزجاج، ويتراكم داخل مجرى فى جانبى المقطر الشمسى. ويتم سحب المياه المقطرة العذبة إلى خارج الوحدة.

ب : طرق إعذاب المياه بالأغشية

يعتبر أسلوب استخدام الأغشية المحددة المسامية من الطرق الحديثة لاستخلاص الماء العذب من الماء المالح. فمن المعروف أنه توجد عدة أنواع من الأغشية ذات خواص شبه منفذة تسمح بمرور الماء العذب، ولا تسمح بمرور جزئيات الملح. وهناك أنواع أخرى من الأغشية التى تسمح بمرور أيونات موجبة فقط أو سالبة فقط، ويتم استغلال هذه الخواص فى فصل الأملاح من المياه، وأهم هذه الطرق هى :

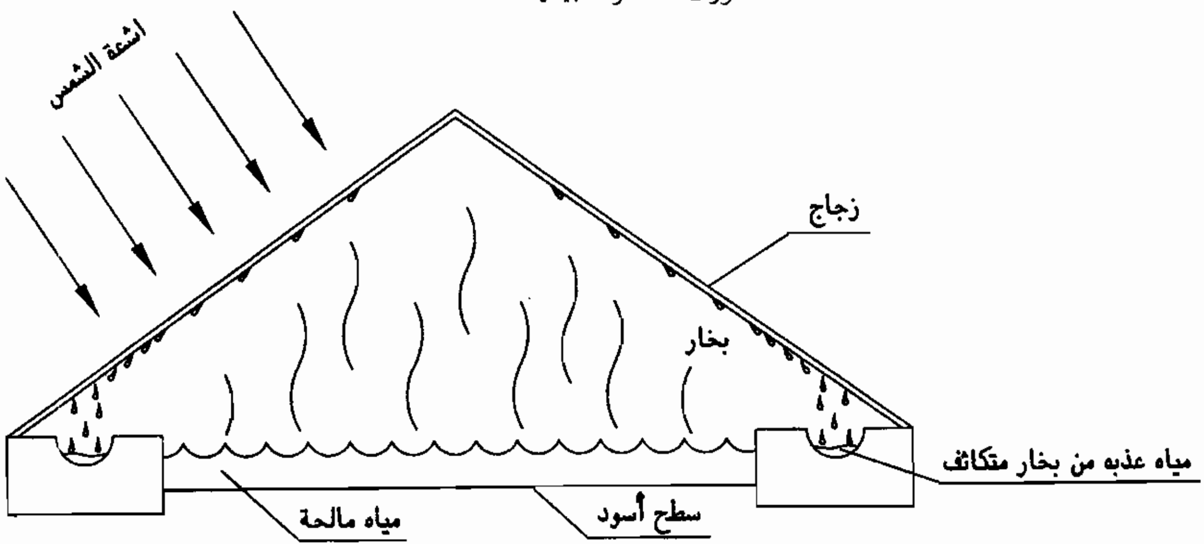
أولا : التناضح الأوسموزى العكسى Reverse Osmosis

ثانيا : التحليل الكهربائى Electro Dialysis

وتحتاج هذه العملية إلى مصدر طاقة خارجى، لرفع الطاقة الحرارية، ويعتمد التحليل الاقتصادى لهذه العملية على كفاءة المعدات والتكلفة الفعلية للتشغيل. ومن المعتاد أن اختيار انسب الطرق الحرارية بالتقطير يكون بعد دراسات مواءمة بين الكفاءة والتكلفة.

أولا : التناضح الأوسموزى العكسى Reverse Osmosis

تعتبر تكنولوجيات إعذاب المياه باستخدام التناضح الأوسموزى العكسى من الطرق الحديثة نسبيا على المستوى التطبيقى العملى، وإن كانت الأسس النظرية لها معروفة منذ أمد بعيد . وتعتمد نظرية عمل الوحدات الصناعية على خواص بعض الأغشية شبه المنفذة والتى تسمح بمرور الماء العذب إلى الماء المالح خلال هذه الأغشية بفعل الضغط الاسموزى كظاهرة طبيعية .



شكل (٣-٧) : مقطر شمسى بسيط للمياه

ويوضح شكل (٣ - ٨) الفكرة الأساسية لنظرية عمل التناضح الأسموزى، حيث إن وجود غشاء نصف مسامى بين محلول ملحى (جهة اليسار) وماء عذب جهة اليمين، يجعل الماء العذب يندفع خلال الغشاء إلى المحلول الملحى تحت ضغط يسمى الضغط الاسموزى، ولا يسمح هذا الغشاء بمرور جزئيات الملح المذاب، وبالتالى يتم تخفيف المحلول الملحى بتركيز يتوقف على خواص الأغشية وعلى تركيز المحلول الملحى .

وإذا قمنا بإحداث ضغط على المحلول الملحى يفوق الضغط الأسموزى فإن الماء العذب الموجود داخل المحلول الملحى، ينتقل خلال الغشاء من اليسار إلى اليمين .

وفى النهاية نحصل على ماء عذب فى الجهة اليمنى، ونحصل على محلول ملحى أشد تركيزا فى الجهة اليسرى كما هو موضح فى شكل (٣ - ٩أ) . وتبلغ كفاءة انتقال الناتج المائى بواسطة الأغشية المعروفة عالميا ما يزيد عن ٥٠٠ لتر يوميا لكل متر مربع من سطح الأغشية . ويمكن التحليل بإيجاز بأن مصدر الطاقة الرئيسى هو المطلوب لرفع ضغط ماء البحر أعلى من الضغط الأسموزى (التناضحى) .

هذا ويتوقف حساب الضغط الأسموزى على نسبة الملوحة بالماء مقاسة بالمليجرام لكل لتر، مضروبة فى ثابت الغازات، مضروبا فى درجة الحرارة المطلقة لجزء فى المليون. أى إن:

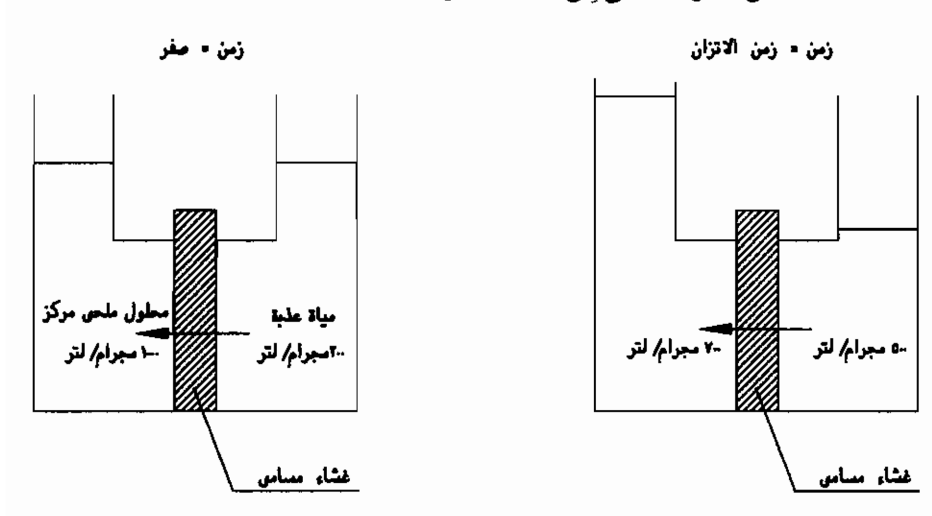
الضغط الأسموزى ض^{1} = ت X ر X ح.

ح = درجة الحرارة بالدرجات المطلقة.

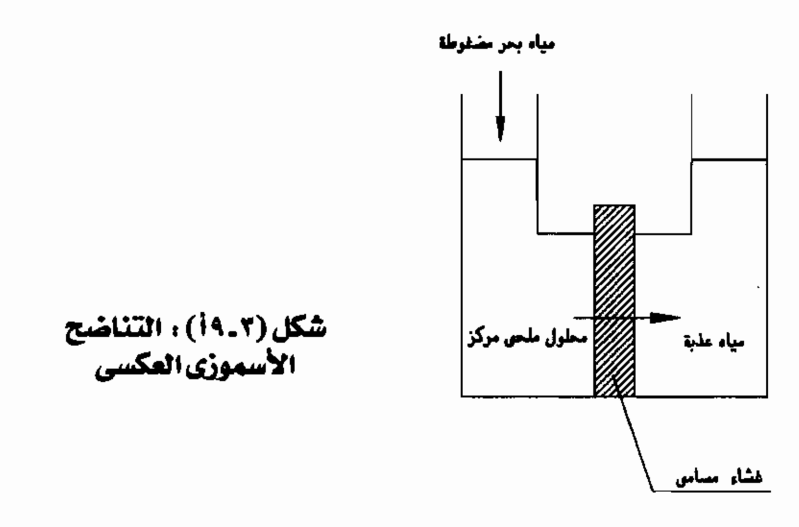
ر = الثابت العام للغازات.

ت = تركيز الأملاح مليجرام/لتر

وتتراوح قيمة الضغوط الأسموزية للمحاليل، ذات ملوحة مذابة بين ٥٠٠٠ إلى ٣٥٠٠٠ جزء فى المليون، ما بين ٤٢ إلى ١٠٥ بار (ضغط جوى). وفى حالة تطبيق ضغوط أكبر من هذه القيم على المحلول الملحى (مياه البحار والمياه الزاعقة مثلا) ينتقل الماء العذب من المحلول الملحى إلى الجهة الأخرى.



شكل (٣-٨) : التناضح الأسموزى فى حالة اتزان



شكل (٣-٩أ) : التناضح الأسموزى العكسى

وتتركز التقنيات الحديثة في الأغشية التي تعتبر العصب الرئيسي والحساس الذي تعتمد عليه كفاءة الأداء والتكلفة الاقتصادية. وبدأت تجارب التشغيل التجاري لهذه التكنولوجيا اعتباراً من أوائل الستينيات من هذا القرن. والأغشية أساساً نوعان :

- الأول : غشاء مسطح **Flat Sheet Membranes**.

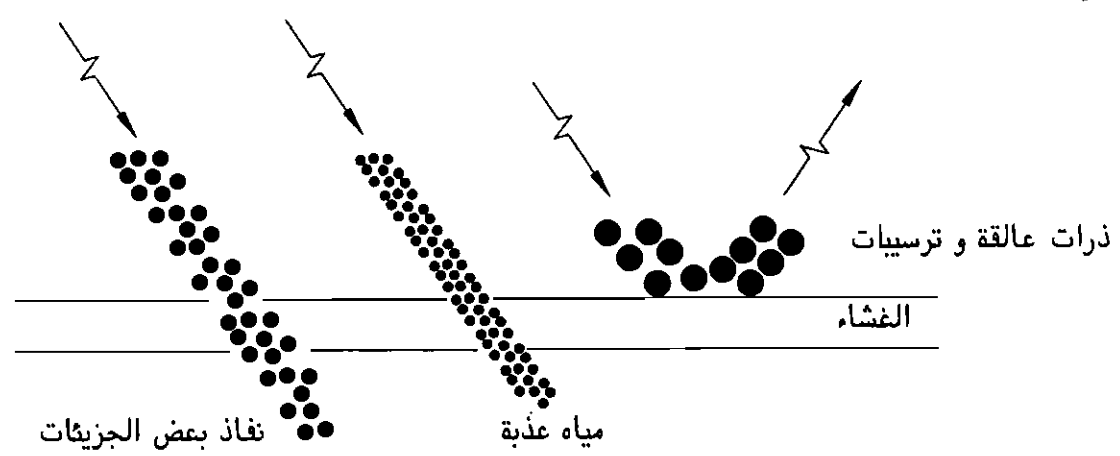
والثاني : ألياف مجوفة **Hollow Fibers** وفي بعض الأحيان تسمى أليافاً دقيقة مجوفة، وظهر نوع يطلق عليه الملفوف الحلزوني **Spiral Wound**.

تتكون الأغشية المكونة من الألياف الملفوفة حلزونياً من عناصر ذات أقطار تتراوح بين ٢٥م و٣٥٥م طولاً، إلى ٣٥٥م قطر و١٥٢٤م طولاً، وتبلغ في المتوسط ٦٤م قطر مع ١٠١٦م طولاً. وتمتاز الأغشية بأنها تسمح للمياه بالتجول خلالها، على حين أنها تمنع تقريباً كل شيء آخر من المرور، ويطلق عادة على الجزء من الماء الذي يمر خلال الأغشية الناتج، على حين يسمى المحلول الملحي والأملاح العالقة بالمخلفات.

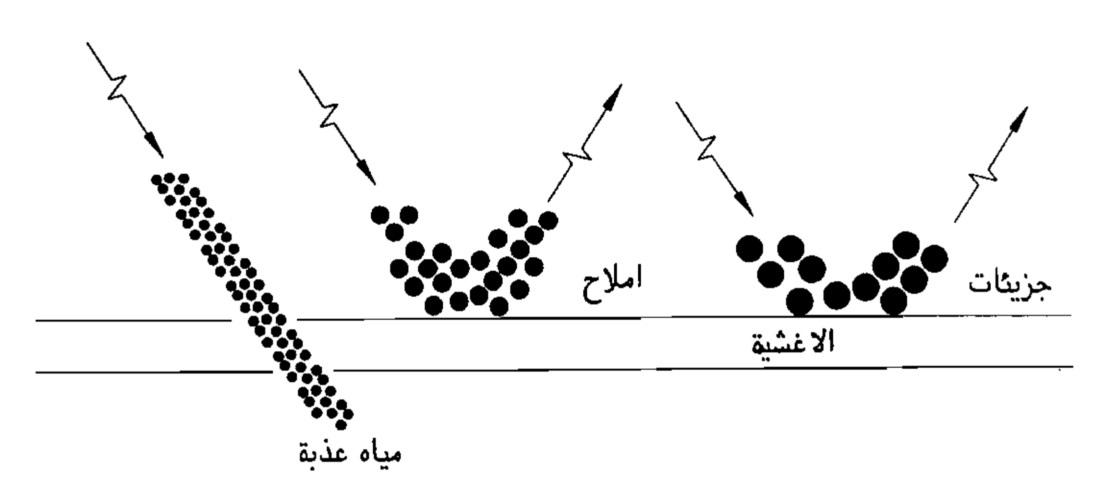
ويوضح شكل (٣ - ٩ ب) وشكل (٣ - ٩ جـ) خاصية الترشيح الدقيق باستخدام الأغشية وخاصة التناضح العكسي، باستخدام الأغشية، ففي الحالة الأولى يتم إمرار المياه العذبة وبعض الجزيئات، بينما في حالة التناضح العكسي يتم فقط السماح بمرور المياه العذبة.

ويوضح شكل (٣ - ١٠) نموذجين للأغشية من النوع المجوف، حيث يتم فصل المياه العذبة من المياه المالحة، ويتم سحب النتاج (المياه العذبة) من منتصف العنصر، ويتم التغذية من خلال المحيط وبالتالي يتم إخراج المخلفات من جهة والنتاج من الجهة الأخرى، وفي النوع الآخر تتم التغذية من المنتصف وتطرد المخلفات من الجهة المقابلة، وتجمع المياه العذبة من مخارج خاصة(٨).

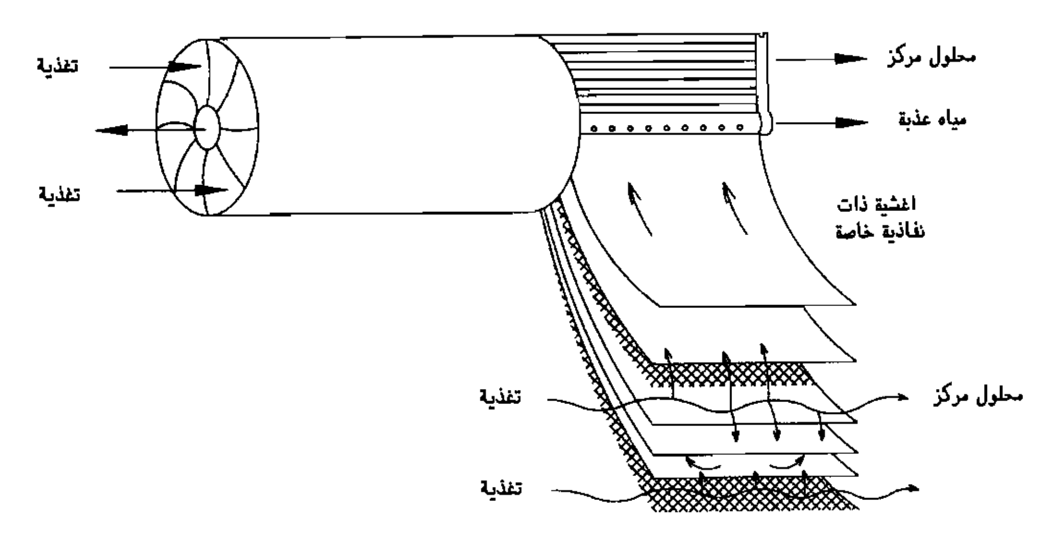
ولقد كانت هذه الطريقة محدودة التطبيق، وبالذات للمياه الزاعقة فقط، ولم يمكن استخدامها اقتصادياً، حتى تم بناء أكبر محطة لإعذاب المياه بالمملكة العربية السعودية لإنتاج ١٥ مليون جالون / يوم في جدة، ثم لحقتها محطات أخرى تقوم بتحلية مياه البحار، بالأوسموز العكسي؛ حيث أدت التقنيات الحديثة للأوسموز العكسي إلى تخفيض التكلفة الاستثمارية والتشغيل لمحطات الأوسموز العكسي نسبياً إلى محطات التبخير الوميضي المتعددة المراحل.



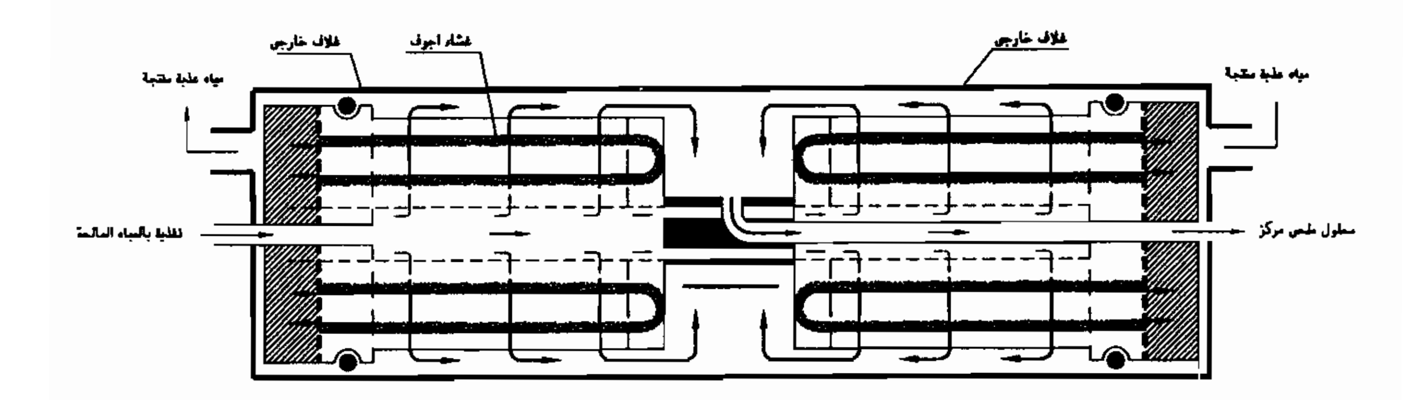
شكل (٢-٩ب) : خاصية الترشيح الدقيق باستخدام الأغشية



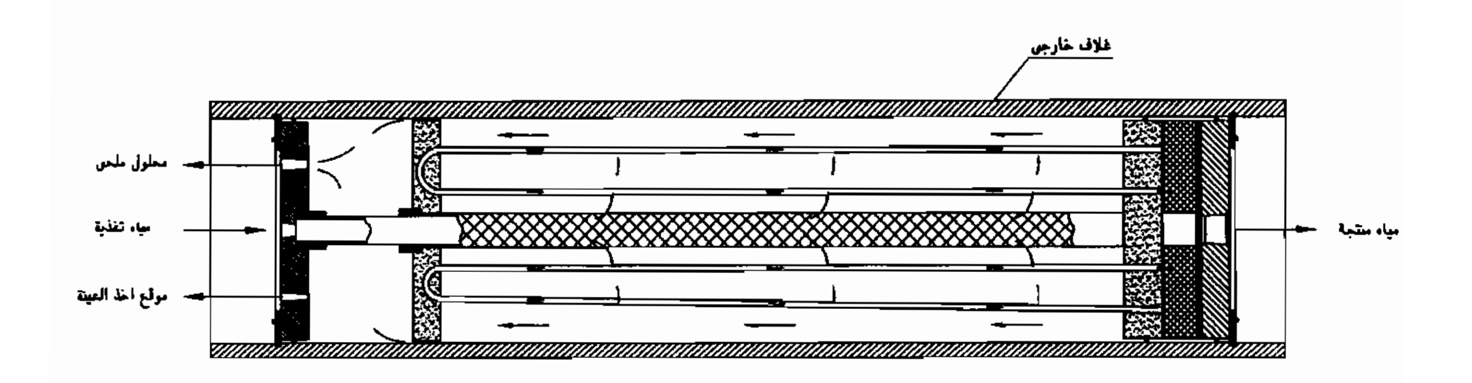
شكل (٢-٩جـ) : خاصية التناضح العكسى باستخدام الأغشية



شكل (٢-١٠أ) : رسم تخطيطى لنموذج غشاء من النوع المجوف



شكل (٢-١٠ ب) : نموذج لغشاء أجوف للتناضح العكسى



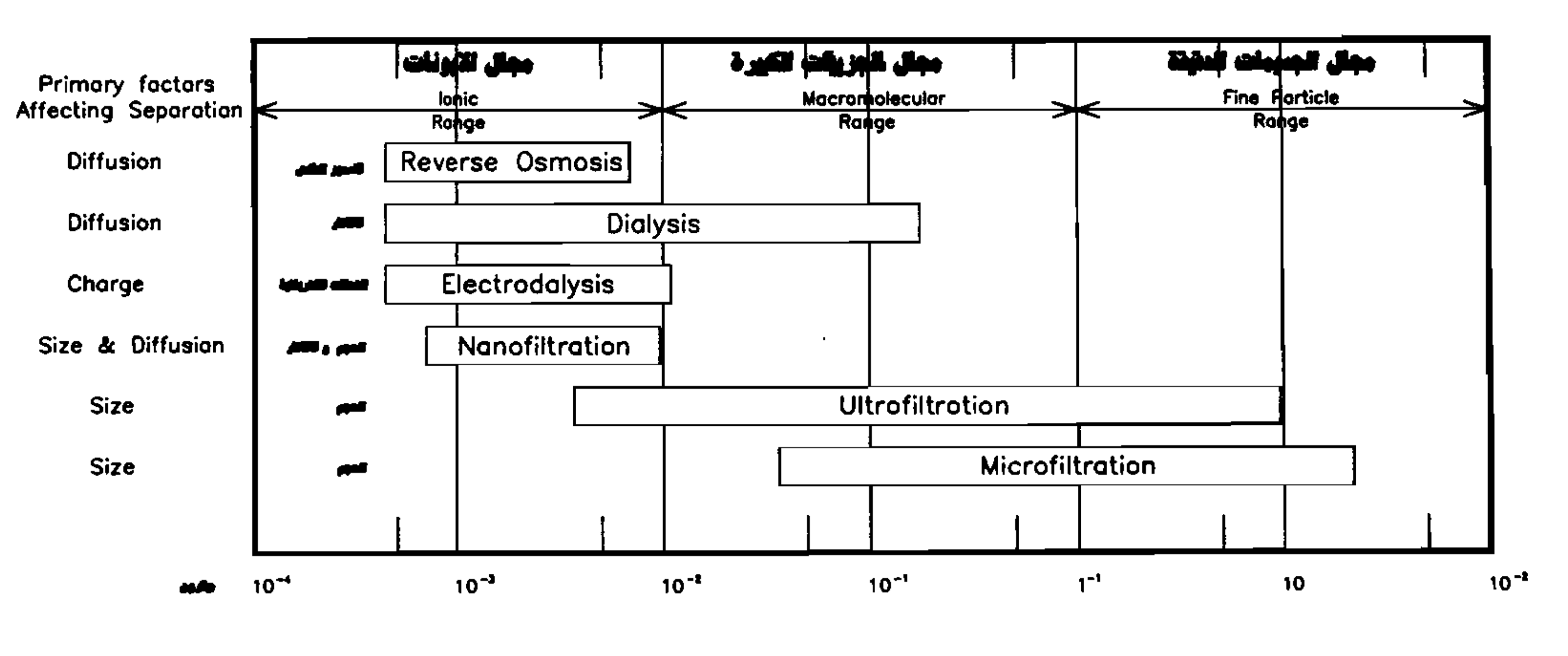
شكل(٢-١٠ جـ) : نموذج للأغشية المجوفة فى نظم التناضح العكسى

ويوضح شكل (٣ - ١١) تأثير حجم الجزيئات على أداء الأغشية فى العمليات المختلفة من الأوسموز العكسى، والتحليل الكهربائى والترشيح والترشيح الدقيق... إلخ.

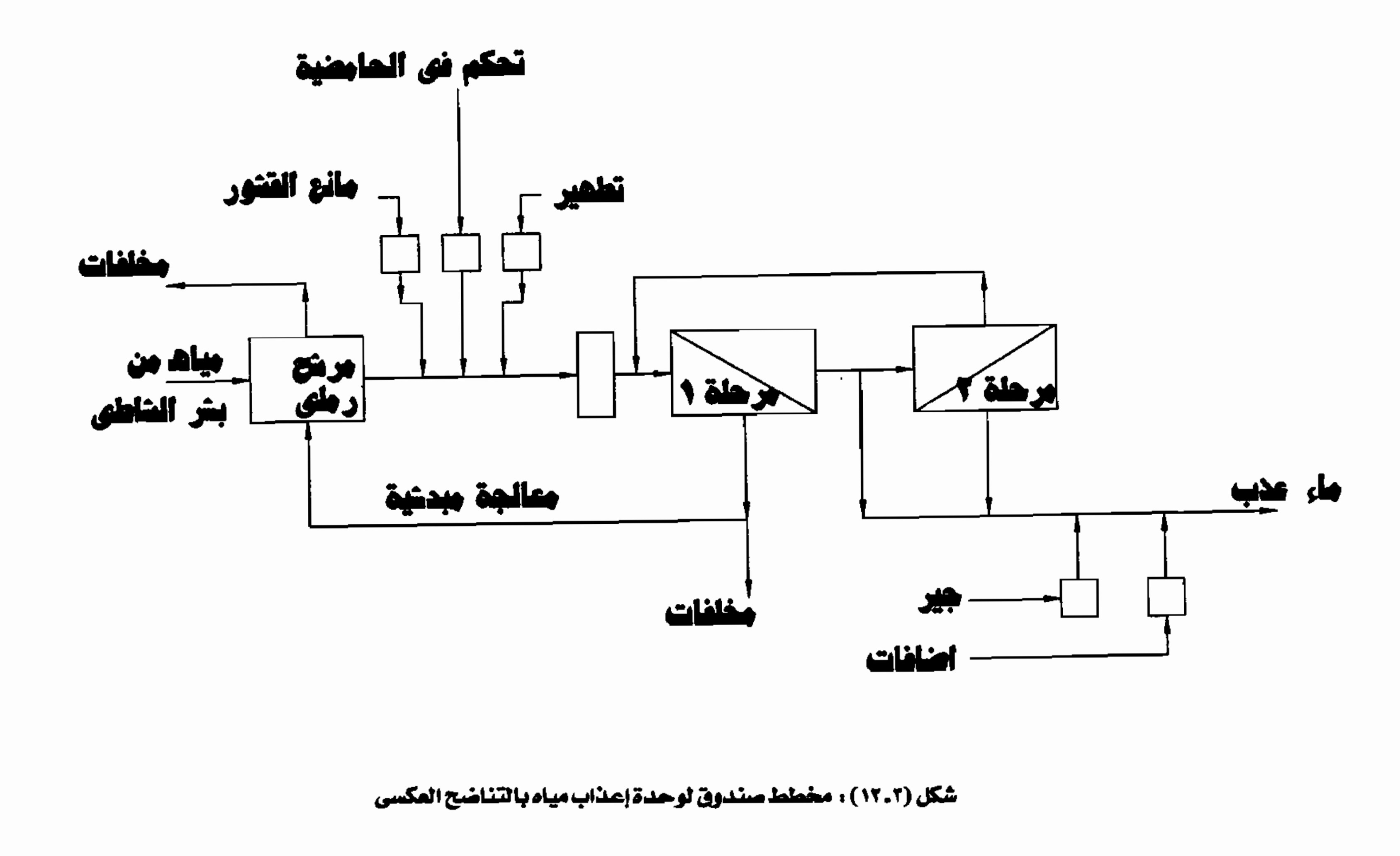
كما يوضح شكل (٣ - ١٢) مخططاً صندوقياً للمراحل المختلفة، لوحدة تحلية مياه بالتناضح العكسى، تعمل مع مياه البحر؛ حيث يتم دخول مياه البحر من البئر الشاطىء جهة اليسار، إلى مرشح رملى، ويتم إضافة كيماويات لمنع تكون القشور، ولضبط مستوى الحامضية للمياه، بالإضافة إلى تعقيم المياه وتطهيرها. وعند هذه المرحلة يتم دفع المياه المعالجة إلى أولى مراحل وحدة التناضح العكسى ويتم سحب المياه العذبة المنتجة إلى وحدات معادلة القلوية، والإضافات الأخرى، قبل دفع المياه إلى الخزانات وشبكة تغذية المجتمعات السكانية أو الصناعية.

ثانياً : التحليل الكهربائى Electro Dialysis

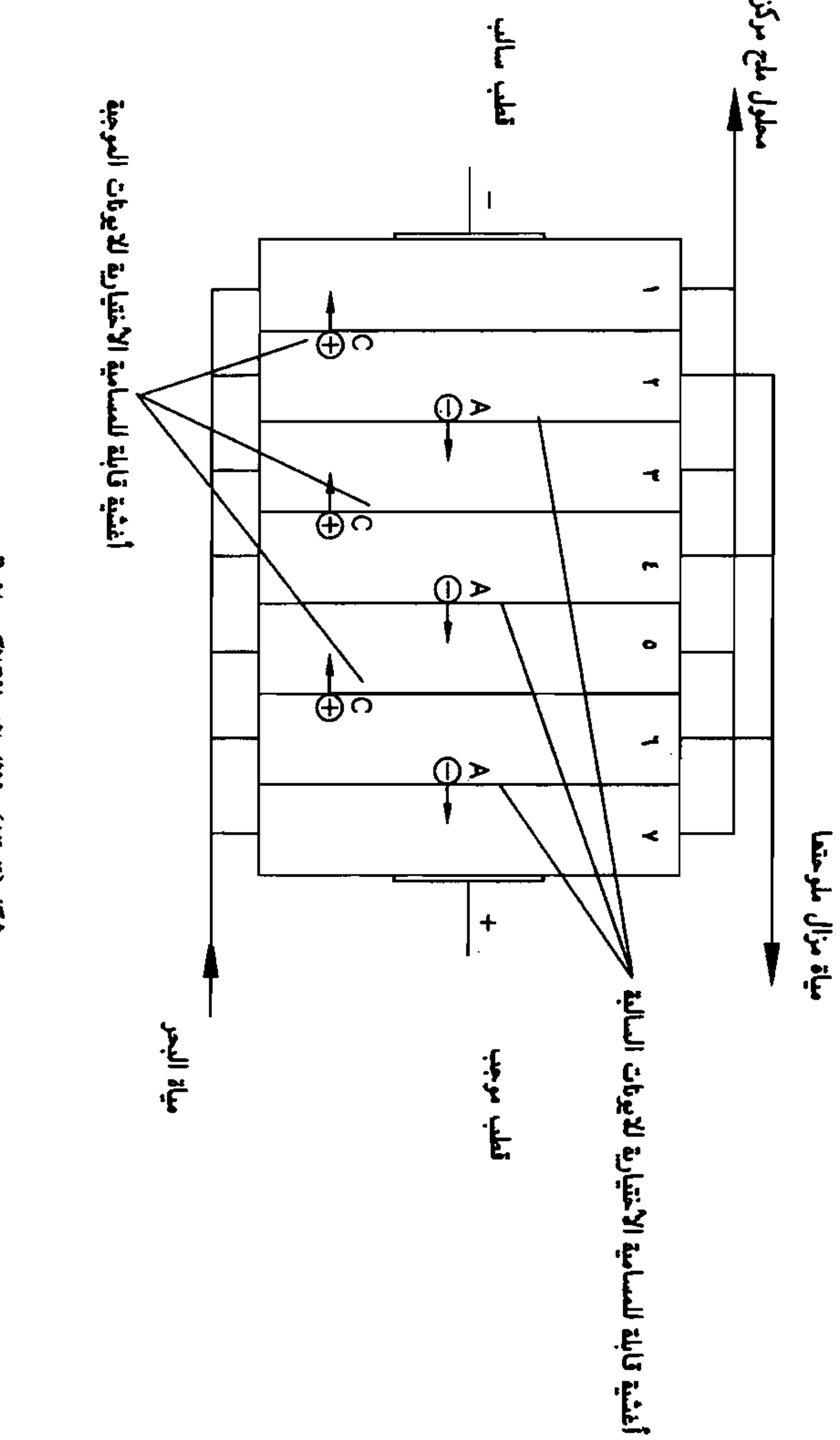
تتكون وحدة إعذاب المياه بالديلزة الكهربائية، كما هو موضح بالشكل (٣ - ١٢) من عدة غرف متجاورة، تفصلها جدران من أغشية ذات نفاذية محدودة ومحددة من نوعين أساسيين: أحدهما يسمح فقط بمرور الأيونات السالبة القطبية. وينتهى مجموع الحجرات من ناحية بلوح موجب القطبية ومن الناحية الأخرى بلوح سالب القطبية. وعند تشغيل النظام يتم إمرار فرق جهد محدد بين اللوح الموجب واللوح السالب، مما يؤدى بالتبعية إلى تأين الملح المذاب داخل المياه إلى أيونات ملح موجبة وأيونات ملح سالبة. وتتحرك جميع الأيونات السالبة جهة القطب الموجب، بينما تنجذب الأيونات الموجبة تجاه القطب السالب. وبما ان الماء المالح يحتوى الآن على ملح متأين إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة، فإن الأيونات الموجبة تحاول المرور عبر الأغشية المسامية مثلاً من جهة اليسار إلى اليمين محاولة اختراق الأغشية. وباختيار الأغشية بالتبادل بحيث تسمح بإمرار الأيونات الموجبة ويرمز لها بالرمز C والأغشية الأخرى التى تسمح فقط بامرار الأيونات السالبة من اليسار إلى اليمين، ويرمز لها بالرمز A.



شكل (٣-١١) : تأثير حجم الجسيمات على استخدامات الأغشية



شكل (١٢.٣) : مخطط صندوق لوحدة إعذاب مياه بالتناضح العكسى



شكل (١٢.٢) : نظام الديلزة الكهربائية

وتتراكم الأيونات الموجبة والسالبة فى الغرفتين رقمى ٣ و٥ مكونة ماءً مالحاً شديد التركيز، وتخلو الغرف أرقام ٢ و٤ و٦ من أى أيونات أملاح، وبالتالى يكون الماء الموجود بها عذباً ويتم سحب المياه العذبة إلى ماسورة التغذية الرئيسية.

أما الماء شديد الملوحة فى الغرفتين ٣ و٥ بالإضافة إلى الماء بالغرفتين ١ و٧، فيتم سحبها إلى ماسورة المخلفات مع استغلال أى طاقة حرارية بها للتسخين.

وللحصول على أداء مستقر ومتزن لوحدات الديلزة الكهربائية، فإنه يتحتم الا تزيد شدة التيار عن حد معين يحدده تناقص طبقة الأيونات المتكونة بالقرب من الأغشية. وهذا التناقص نتيجة زيادة معدل انتقال الأيونات خلال الأغشية، عن معدل هجرة الأيونات خلال المحلول المائى ذاته. ويتم ترسيب بعض أملاح الماغنسيوم كقشور على أسطح الأغشية ألواح الموجب والسالب. وللتغلب على مشاكل الترسب يتم تحديد شدة التيار، لتكون بعيدة عن الحد المكون للترسيب.

وتتحدد كفاءة عمل المحطة وفقاً لمعايير تصميمية كثيرة، منها على سبيل المثال لا الحصر :

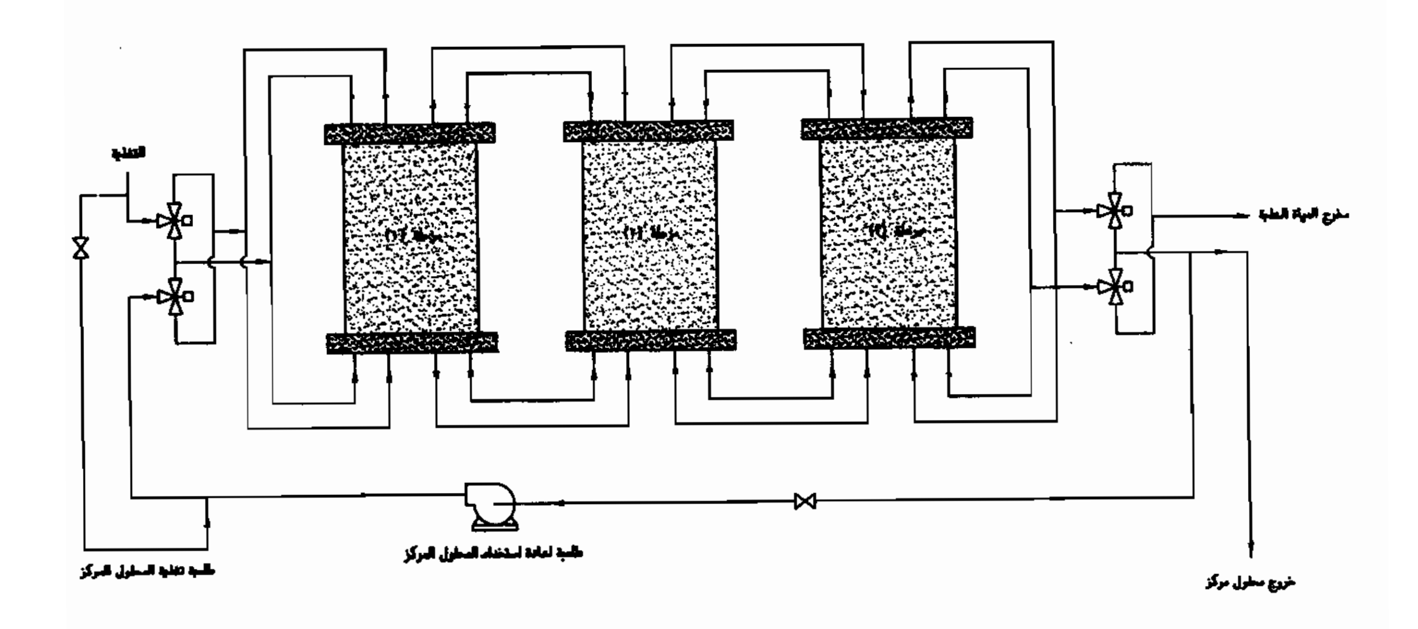
- عدد الحجرات التى يتم خلالها فصل الملح المتأين.
- كثافة التيار المار.
- نسبة استعادة المياه (النسبة بين المياه العذبة المنتجة إلى مياه التغذية).
- اختيار الأغشية.

ويتم تحديد عدد أزواج الأغشية بناء على ملوحة المياه المغذاة للوحدة (تركيز كلوريد الصوديوم) وذلك لتحديد المساحة الفعالة للأغشية، وتساوى حاصل ضرب المساحة الفعالة لكل غشاء فى عدد أزواج الأغشية. وقد اظهرت دراسة يابانية على الديلزة الكهربائية للمياه الزاعقة(١٧) أنه لإعذاب مياه ذات ملوحة ١٠٠٠٠ جزء بالمليون من كلوريد الصوديوم، بمعدل ٢٥٩ متر مكعب يوم، نحتاج حوالى ٥٠٠ زوج أغشية، ويرتفع العدد إلى ٧٦٠٠ زوج من الأغشية، للحصول على ٣٠٠٠ متر مكعب يوم.

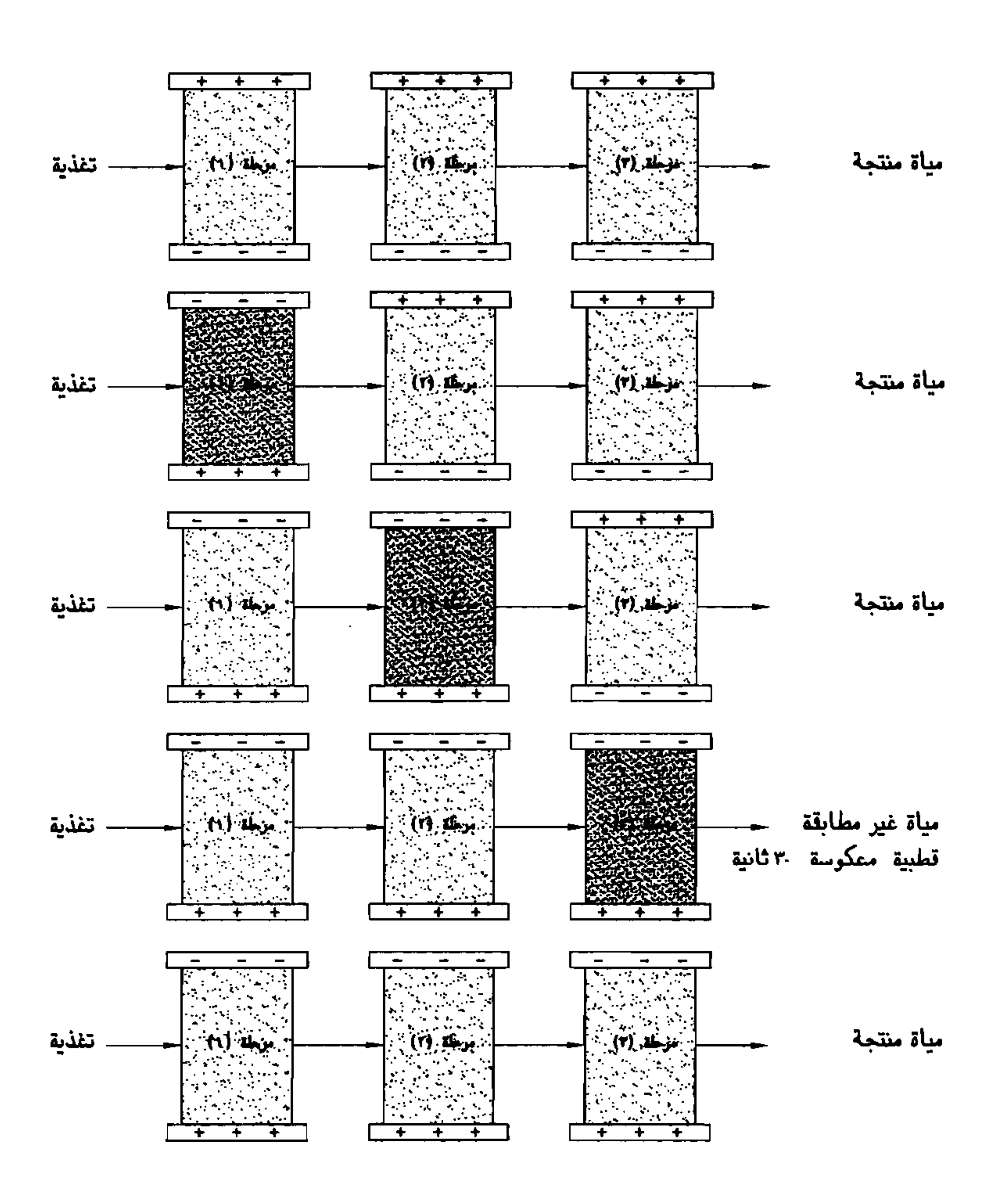
وتختلف كثافة التيار الكهربائى المستخدم وفقاً لتركيز كلوريد الصوديوم فى المياه المغذاة فهى مثلاً ٠,٢٥ أمبير/ديسيمتر مربع عند تركيز كلوريد صوديوم ٤٠٠ جزء بالمليون، وتبلغ حوالى ٢ أمبير/ديسيمتر مربع، عند ملوحة ١٠٠٠٠ جزء بالمليون.

وتزداد نسبة استعادة المياه كلما سمحنا بوجود أملاح أكبر فى المحلول المركز المطرود. ويتم اختيار الأغشية على أساس المقاومة خلال الغشاء، ومعامل الانتقال، والخواص الطبيعية، وشدة الاحتمال. هذا بالإضافة إلى تأثير الحامضة الطبيعية لبعض المياه المغذاة على الأغشية.

وتعانى طريقة إعذاب المياه بالديلزة الكهربائية من ترسيب الأملاح والقشور، والإضافة المتكررة للأحماض والإضافات. وللتغلب على هذه المشاكل تمكن العلماء من تصميم نظام الديلزة الكهربائية العكسية، وتتطلب وجود عدد فردى من الحجرات، حيث يتم عكس قطبية المصدر الكهربائى مابين مرتين إلى أربع مرات فى الساعة، وتبادل قطبى طرفى الوحدة يؤدى إلى عدم ترسب القشور التى تعوق انتقال الأيونات. ويوضح شكل (٣ ـ ١٤) مخططاً صندوقياً لوحدة تعمل بالديلزة الكهربائية العكسية من ثلاث مراحل. ولزيادة إنتاجية الوحدة يتم استخدام ترتيب معين لعكس القطبية، كما هو موضح فى شكل (٣ ـ ١٥) حيث يتم عكس المرحلة الأولى، ثم الثانية، ثم الثالثة، ويتم طرد المنتج غير المطابق للمواصفات.



شكل (٣ ـ ١٤) : مخطط العمليات الأساسية لنظام إعذاب المياه بالديلزة الكهربائية العكسية



شكل (٣-١٥) : نظام الديلزة الكهربائية العكسية

الفصل الرابع

إعذاب المياه والطاقة

أ- مقدمة تاريخية :

منذ آلاف السنين بدأ أجدادنا محاولات تسخير الطاقات المتاحة لخدمة المجتمع البشرى. وقد بدأ القدماء فى استغلال حرق الخشب للحصول على بخار الماء من مياه البحر، وتكثيفه للحصول على مياه مزالة ملوحتها. وكان من الطبيعى أن تبذل محاولات لتطويع الطاقة الحرارية الموجودة فى الوقود الحفرى، لخدمة أغراض التنمية الصناعية، التى بدأت فى الازدهار فى القرون السابقة.

ومع تطور الزمن أمكن للعلماء إنتاج المزيد من الآلات الحرارية البخارية وتطويرها، لتحسين كفاءة عملها، إلى أن تمكن العلماء من تصميم وإنتاج التوربينات البخارية، وهى آلة حرارية ذات كفاءة أعلى، لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية، وأمكن استخدام طاقة البخار، أو الغازات الساخنة فى إحداث الحركة الدورانية من خلال دفع الغاز من نوافير صغيرة، بسرعة عالية، ليصطدم مع ريش التوربين البخارى، لإنتاج الطاقة الكهربائية، مع الاستفادة بالطاقة المتبقية فى البخار لإعذاب المياه بالتبخير مثلاً.

وقد بدأ التطبيق الفعلى لنظم إعذاب المياه لتغذية المجتمعات الصحراوية بوحدتين للتبخير متعددتى المراحل فى المملكة العربية السعودية فى جدة، خلال الثلاثينيات من هذا القرن وفى الوقت تقريباً، فى جزر كورا كاو وأوروبا والأنتيل الهولاندية. واحتوت هذه المحطات على مرحلتين أو ثلاث، وعانت من مشاكل تكون القشور على المواسير، والصدأ وهروب بعض قطرات الماء المالح مع الماء العذب المنتج. وظهر التبخير بالضغط فى غضون الحرب العالمية الثانية، بالإضافة إلى كفاءة الطاقة المنخفضة، حيث تطلب إنتاج واحد لتر من المياه ٥٠ جرام من الوقود أى ٥٠٠ كالورى.

وظهرت تكنولوجيا الإعذاب بالتبخير الوميضى المتعدد المراحل فى الخمسينيات من القرن الحالى، واستخدمها الأسطول الأمريكى، وتم تركيب محطة كبيرة لإنتاج المياه العذبة فى الكويت عام ١٩٦٠ تنتج ١,٢ مليون جالون/يوم وبها عدد ١٩ مرحلة، ونسبة الأداء بها ٥,٦.

ب- محطات الإعذاب التقليدية :

والفصل الحالى من الكتاب يقدم نماذج فعلية من محطات لإنتاج المياه العذبة من مياه البحار، تعمل باستخدام عديد من التقنيات التى جاء ذكرها فى الفصل السابق.

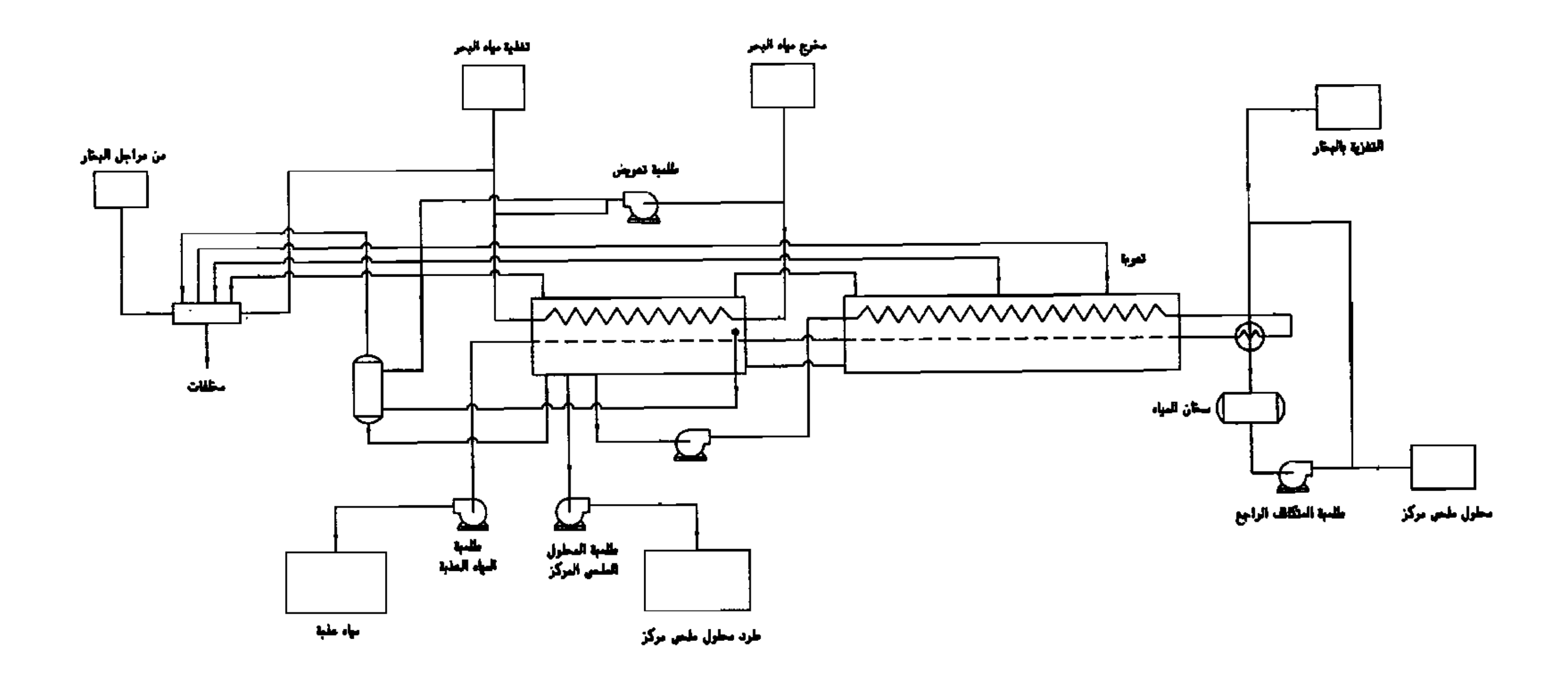
أولاً : محطات حرارية لتحلية المياه بالتبخير متعدد المراحل :

يوضح الشكل (٤ - ١) كروكياً تخطيطياً لمحطة تحلية المياه «أم النار» بأبوظبى، وهى من النوع الذى يستخدم تكنولوجيا التبخير الوميضى المتعدد المراحل، وعدد الوحدات

المركبة ١٦ وحدة، كل منها تعطى إنتاجية تتراوح ما بين ٤ إلى ٦ ملايين جالون إنجليزى فى اليوم. وتم إنشاؤها فيما بين أعوام ١٩٧٩ و١٩٩٠. وأهم المدخلات الرئيسية للمحطة هى:

- الإنتاجية ٦ ملايين جالون/يوم (٢٧٢٧٠ متر مكعب/يوم)
- نسبة الأداء ١ لتر لكل ٨٣ كالورى.
- درجة حرارة مياه البحر عند الدخول ١٨ / ٣٥ درجة مئوية.
- تركيز الأملاح فى مياه البحر ٥١٥٠٠ جزء بالمليون.
- درجة حرارة البخار المستخدم ١٣٠ درجة مئوية.
- ضغط البخار ١,٤ بار.
- معدل سريان البخار ١٦١ طن/ساعة.

وتوضح بيانات تصميم المحطة ان الأبعاد الأساسية لغرف التبخير الوميضى هى : الطول ٤,٢٤ متر، والعرض ١٥,٧٥ متر، بينما الارتفاع ٤,٢٧ متر، وابعاد وحدة التبادل الحرارى ٢,٩٠ متر ارتفاع. ويوضح الجدول (٤ - ١) الأبعاد الرئيسية للمبخر.



شكل (١٠٤) : مخطط كروكي لمحطة إعذاب المياه، أم النار، (أبوظبي)

جدول (٤-١) : الأبعاد الرئيسية للمبخر

الخـــــواص	الأبعـــــــاد
عدد المواسير لكل مرحلة	٢٨٦١
طول الماسورة	١٥,٩٠ م
القطر الخارجى	٣١,٧٥ مم
مادة الماسورة	سبيكة نحاس / نيكل ٩٠٪ / ١٠٪
الســـــمك	١,٢٢ مم
مساحة السطح	٦٨,٠٦ م٢

وتسترجع المحطة بعضاً من الطاقة الحرارية فى المحلول الملحى عند درجة ٩٠ مئوية، وتظهر أهمية المحطة والتنويه عن خصائص المياه المنتجة والطاقة المستخدمة فى كونها ذات تصميم بسيط، يوضح ذلك نسبة الطاقة المطلوبة لكل متر مكعب مياه منتج. وهى تتراوح بين ١٥٦ كالورى لكل لتر فى التبخير الوميضى فى حالة ٦ مراحل إلى حوالى ٥٢ كالورى لكل لتر فى حالة ١٤ مرحلة. وبالطبع يتوقف هذا المعدل على الملوحة وحجم الوحدة، وظروف الموقع.

ويوضح الجدول (٤ - ٢) المحطات العاملة فى المملكة العربية السعودية على سبيل المثال (مجلة تحلية المياه العدد ٣ لعام ١٩٩٣).

جدول (٤-٢) : المحطات العاملة فى المملكة العربية السعودية

اسم المحطة	التكنولوجيا المستخدمة	الاســــــتطاعة
حـــــائل	تبخير وميضى	٩٠٠ م٣/يوم
دبــــــا	تبخير وميضى	٧٨٠
الوجـــــه	تبخير وميضى	٧٨٠ م٣/يوم
الوجـــــه	ضغط البخار	٩٦٠ م٣/يوم
أم لاج	تبخير وميضى	٥٥٠ م٣/يوم
ينبـــــع	تبخير وميضى	١١٣٧٠٠ م٣/يوم
رابـــــغ	تبخير وميضى	١٤٠٠ م٣/يوم
جـــــدة	تبخير وميضى	٣٨٢٠٠٠ م٣/يوم
الجبيـــــل	تبخير وميضى	١١٠٠٠٠٠ م٣/يوم
الخبـــــر	تبخير وميضى	٢٥٤٠٠٠ م٣/يوم
شـــــوبيه	تبخير وميضى	١٨٢٠٠٠ م٣/يوم

هذا بالإضافة إلى عديد من المحطات الأخرى والأصغر حجماً. كما تقوم المملكة العربية السعودية بإنشاء عديد من خطوط نقل المياه، تبلغ الأطوال العاملة ١٦٠٠ كيلومتر بأقطار من ٤٠٠م وحتى ١٥٠٠م.

وقد أظهر تقدم تكنولوجيات إعذاب المياه بالتبخير الوميضى منذ الخمسينيات، زيادة ملحوظة فى إنتاجية الوحدات، وتطوير تصميم وحدات التكثيف، وتوزيع مواسير أسطح التبادل الحرارى، مع إعادة استخدام الطاقة المطرودة من المخلفات، بدلاً من النظم الأولية بعدم الاستفادة بالمحلول الملحى المركز الناتج من المراحل الأولى لوحدات التحلية.

وأوضحت الدراسات الحديثة أهمية الربط بين وجود أكسوجين مذاب فى المحلول المركز المعاد استخدامه، وبين معدل تكون الصدأ. وأحد الحلول المقترحة هى إزالة أى غازات مؤكسدة بالمياه، وتعديل بطانة غرف التبخير الوميضى لإقلال معدل تكون الصدأ.

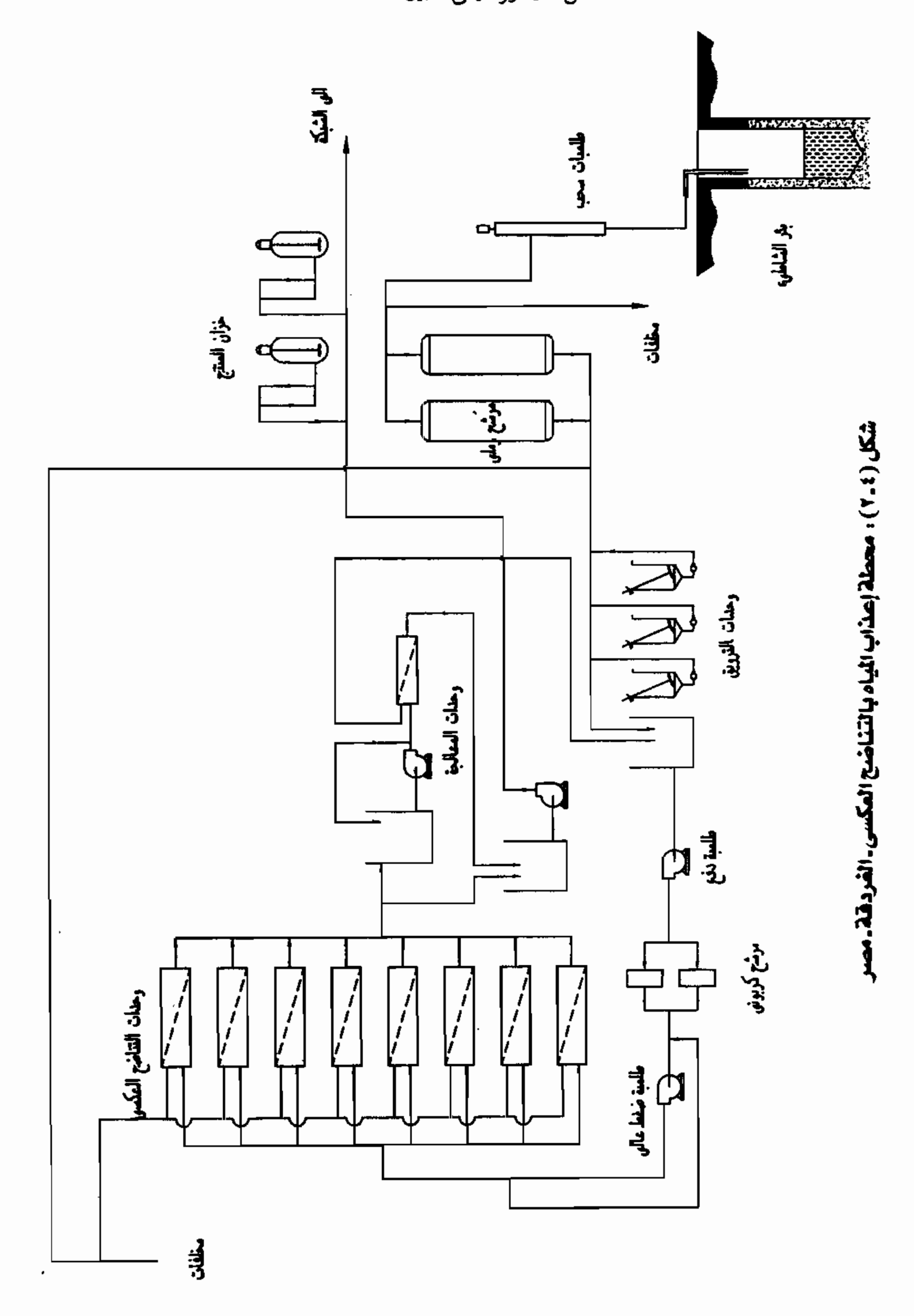
وأظهرت نتائج ومعدلات الأداء فى محطة الخبر رقم ٢ بالمملكة العربية السعودية كفاءة مشهودة فى الأداء، فهى تعمل منذ عام ١٩٨٢ من عشر وحدات تبخير وميضى بقدرة إجمالية ٢٥٤٠٠٠ متر مكعب فى اليوم. وتتطلب هذه الوحدة ضغوط تشغيل، ودرجات حرارة بخار أعلى من وحدات التبخير العادية، وطاقة مضخات مياه أعلى، وبالتالى فهى مرتفعة التكلفة نسبياً.

ثانياً : محطة تحلية المياه بالتناضح العكسى :

يوضح الشكل (٤ - ٢) كروكياً تخطيطياً لمحطة إعذاب المياه بالتناضح العكسى بالفردقة لإحدى القرى السياحية، وهى تصنيع محلى لمعدل إنتاج ١٠٠ متر مكعب / يوم، وتصلح للمجتمعات السكانية والسياحية الصغيرة المنتشرة على طول سواحل مصر الشرقية والمحطة تعمل بالأغشية المفرغة لتتعامل مع مياه البحر بملوحة ٤٦٥٦٠ جزء بالمليون، وتعطى منتجاً نهائياً بإجمالى أملاح ذائبة ٥٥٠ جزء بالمليون. وعدد الوحدات المشابهة والمركبة فى المنطقة ١٠ وحدات، كل منها تعطى إنتاجية تتراوح مابين ١٠ إلى ٢٥ متراً مكعباً فى الساعة. وقد تم إنشاؤها فيما بين أعوام ١٩٧٩ و١٩٩٩. وأهم المدخلات الرئيسية للمحطة هى:

- نسبة طرد الملح أكبر من ٩٠٪.
- نسبة الإحلال ١٥٪.
- درجة حرارة مياه البحر عند الدخول ١٨ / ٣٥ درجة مئوية.
- تركيز الأملاح فى مياه البحر ٤٦٥٦٠ جزءاً بالمليون.

- ضغط التشغيل للطلمبات ٨٠ بار.
- الأس الأيدروجينى مابين ٧ - ٨.



شكل (٤-٢) : محطة إعذاب المياه بالتناضح العكسي- الغردقة- مصر

وتسترجع المحطات بعضاً من الطاقة الحرارية فى المحلول الملحى عند درجة ٩٠ مئوية. وتظهر اهمية المحطة والتنويه عن خصائص المياه المنتجة، والطاقة المستخدمة، فى كونها ذات تصميم بسيط، ويوضح ذلك نسبة الطاقة المطلوبة لكل متر مكعب مياه منتج.

ويوضح الجدول (٤ ـ ٣) محطات تحلية مياه البحر المركبة بمنطقة ساحل خليج السويس، والتى تعمل بالتناضح العسكى.

جدول (٤ـ٣) : محطات تحلية مياه البحر بمنطقة ساحل خليج السويس فى مصر

الخــــواص	الخــــواص	الخــــواص
الغردقــة	اليسر ـ تناضح عكسى	٥٠ م٣ / يوم
الغردقــة	براديسكو ـ تناضح عسكى	٨٠ م٣ / يوم (٥م٣ / ساعة)
الغردقــة	الغردقة (تناضح عسكى)	١٢٨م٣ / يوم (٨م٣ / ساعة)
الغردقــة	الفيروز (تناضح عكسى)	٤٠٠م٣ / يوم (٣٥م٣ / ساعة)
شرم الشيخ	شرم الشيخ (تناضح عكسى)	١٢٠م٣ / يوم (٧,٥م٣ / ساعة)

وجميع الوحدات تعمل بحالة جيدة، وإن كانت تعانى من مشاكل التناضح العكسى الأساسية، وهى:

- تدهور نوعية المياه الداخلة للمحطة، وتأثير الملوثات بالمياه على نظام المعالجة الابتدائية.
- تآكل فى جسم الطلمبات والتأثير السلبى على مجموعة الأغشية.
- صغر حجم المحطة، وعدم وجود فائض فى الإنتاجية.

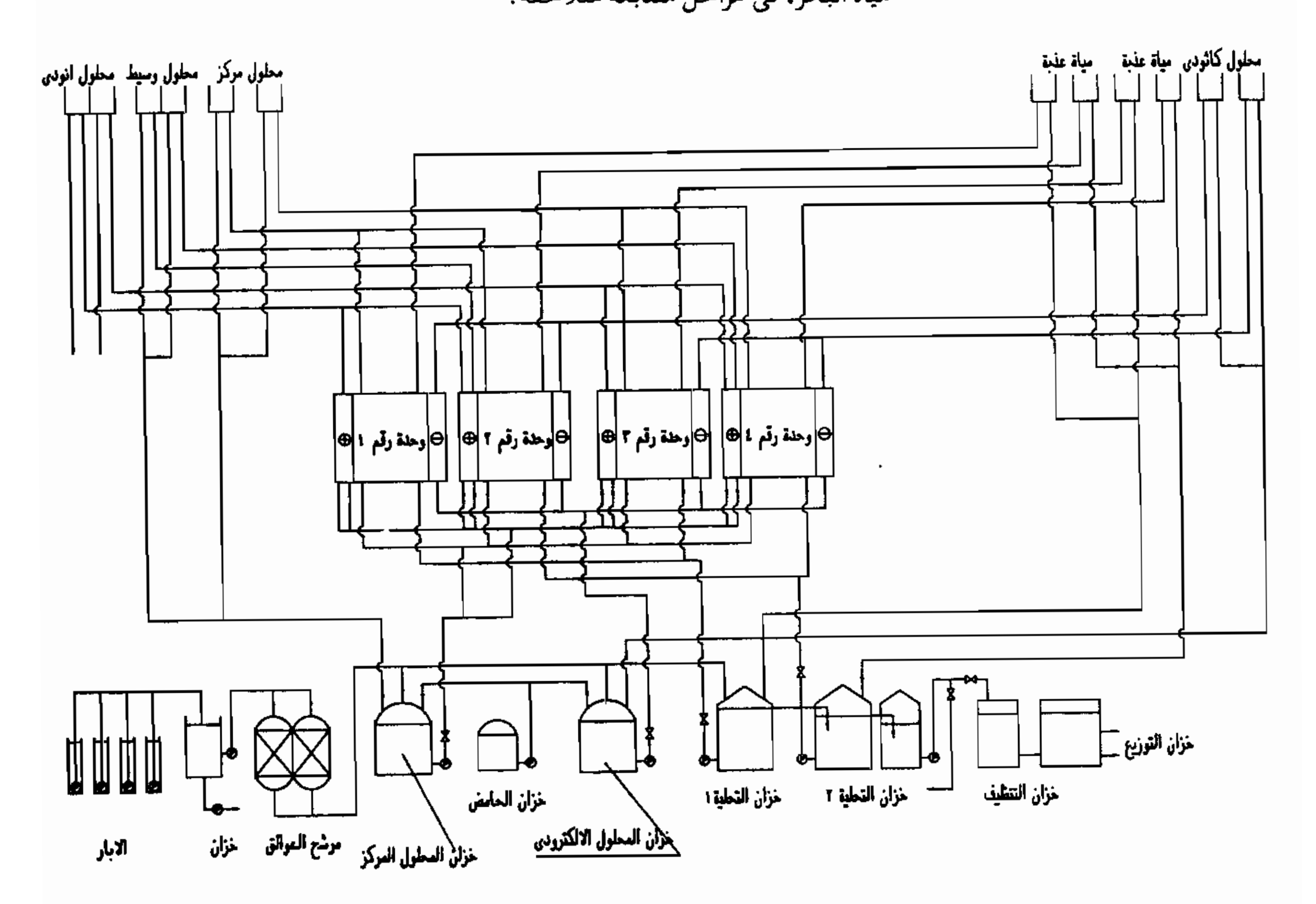
ويوضح الجدول (٤ ـ ٤) المحطات العاملة فى المملكة العربية السعودية على سبيل المثال (مجلة تحلية المياه العدد ٣ لعام ١٩٩٣).

جدول (٤ـ٤) : المحطات العاملة فى المملكة العربية السعودية

اسم المحطة	التكنولوجيا المستخدمة	الاســتطاعة
دبـــــا	تناضح عكسى	٤٤٠٠م٣ / يوم
أم لاج	تناضح عكسى	٣٧٨٨م٣ / يوم
جـــــدة	تناضح عكسى	٧٠٠٠٠م٣ / يوم
البيرق	تناضح عكسى	٢٢٧٢م٣ / يوم

هذا بالإضافة إلى عديد من المحطات الأخرى والأصغر حجماً. كما تقوم المملكة بإنشاء عديد من خطوط نقل المياه تبلغ الأطوال العاملة ١٦٠٠ كيلومتر، بأقطار من ٤٠٠ م وحتى ١٥٠٠م.

وفى مجال تكنولوجيات إعذاب المياه، باستخدام الأغشية نلاحظ تطور نظام الديلزة الكهربائية العكسية، ويبين شكل (٤ ـ ٣) مخططاً كروكياً لمحطة تقليدية فى أوهشيما باليابان وتنتج ٢٥٠٠ م٣/يوم من مياه زاعقة ذات ملوحة ١٢٠٠ جزء بالمليون أو ١٠٠٠م٣/يوم لمياه ذات ملوحة ٣٠٠٠ جزء بالمليون وتستهلك المحطة ٨ر٠ كيلووات ساعة لكل متر مكعب، وبنسبة أداء ٥ر٨٦٪، أما تكلفة المتر المكعب من المياه فلاتتجاوز ١١ر٠ دولار أمريكى. ويجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة تصلح لمياه الآبار الزاعقة ذات الملوحة المحدودة وترتفع تكلفة الإنتاج جداً عند استخدامها لإعذاب مياه البحر، فى مراحل متتابعة متلاحقة.



شكل (٤ ـ ٣) : محطة إعذاب مياه بالديلزة الكهربائية

ومن الدراسات السابقة يتضح اختلاف معدلات استهلاك وأنواع الطاقة المستخدمة لإعذاب المياه عند الظروف المختلفة للتشغيل وإن كان من الطبيعى وجود مؤشرات عامة لاستهلاك الطاقة بصورها المختلفة كما هو موضح بالجدول (٤ - ٥).

جدول (٤-٥) : الطاقة المستهلكة والوقود لتكنولوجيات التحلية المختلفة

التكنولوجيا	نوع المياه	طاقة حرارية كالورى / م٣	طاقة كهربائية كيلوات ساعة	إجمالى مكافئ كجم وقود / م٣
التبخير الوميضى				
- عدد ٦ مراحل	مياه بحار	١٥٠	١,٥	١٥,٦
- عدد ٨ مراحل	مياه بحار	٧٠	٣	٧,٧٥
- عدد ١٤ مرحلة	مياه بحار	٤٠	٥	٥,٢٥
الضغط البخارى	مياه بحر	--	١٦	٤,٠
التناضح العكسى				
	مياه بحر	--	١٦	٤,٠
	مياه زاعقة	--	٣	٠,٧٥
الديلزة الكهربائية	مياه زاعقة	--	٣	٠,٧٥

الفصل الخامس

اقتصاديات إعذاب المياه

أ- مقدمة :

لعلنا خلال رحلتنا من مصادر المياه المتنوعة إلى طرق تحويل المياه المالحة، إلى مياه صالحة للاستخدامات البشرية والصناعة والزراعة، قد تعرضنا لعدة مواقف طرحت علينا بعض الأسئلة، مثل لماذا تستخدم محطات إعذاب مياه تعمل بالبخار أو محطات تعمل بالأغشية أو التناضح العكسى أو حتى فى دورات مشتركة مع توربينات الغاز أو التوربينات البخارية إلى آخره.

مع بداية التنمية البشرية والحاجة الملحة إلى توافر مصدر للمياه، ودخول المياه كعنصر مهم ومؤثر فى تكلفة المنتجات المختلفة تكلفة التنمية البشرية، كما اتضح لنا من الفصل الثالث، حيث تمثل المياه المشتراة نسبة كبيرة فى تكلفة الحياة اليومية والإنتاج الصناعى والزراعى، مثلها مثل تأثير مكون الطاقة على سعر المنتج.

وبالطبع فلابد أن هناك مؤشرات واستدلالات وقواعد عامة تحكم اختيارنا لنظم تحويل المياه المالحة والزاعقة، ولكل موقع ظروفه الخاصة التى تتحكم فى الطريقة المثلى، لإنتاج وتحويل المياه العذبة، ويمكن إنجاز هذه العناصر فيما يلى :

١ - نوع الخدمات المطلوبة : هل هى لتدعيم مصادر مياه تقليدية أساسية، مثل الأنهار أو الآبار أم أنها مياه مطلوبة لمواجهة ظروف أوقات الذروة، أم أنها مياه احتياطية لمواجهة الطوارىء؟

٢ - موقع المحطة المقترح من مصادر المياه المالحة ومصادر الوقود.

٣ - المساحة المتاحة للمحطة.

٤ - ملوحة مصادر المياه ونقاوتها.

١ - الاعتمادية فى التشغيل.

٢ - تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه والكيلووات من الكهرباء.

٣ - التكامل مع شبكة الكهرباء الرئيسية.

فمثلاً لابد من اختيار المحطة بالقرب من مصادر المياه والمحطات الحرارية بالقرب من مصادر الوقود الحفرى، أو من مصادر المياه الزاعقة والآبار والبحار، مثلما هو الحال فى محطات إعذاب المياه بمرسى مطروح، وسفاجة، وشرم الشيخ، فى جمهورية مصر العربية ومحطة الجبيل والخبر بالمملكة العربية السعودية، ومحطة أم النار فى أبوظبى وخلافه.

ويجب ألا ننسى تكلفة إنتاج الكيلووات فى تحديد نوع المحطة، وخاصة فى حالة الديلزة الكهربائية. وتنقسم عناصر تحديد تكلفة تحلية مياه البحار والآبار إلى:

١ ـ تكلفة رأس المال: وهى تكلفة القرض المستخدم لشراء وتوريد وتركيب المحطة، وتشتمل على فوائد القروض، والتامين، والإهلاك للمعدات، ومرتبات الإدارة.

٢ ـ تكلفة التشغيل وتشتمل :

(أ) تكلفة الوقود.

(ب) تكلفة العمالة.

(جـ) تكلفة الصيانة والخدمات.

(د) تكلفة الإشراف.

(و) تكلفة الكيماويات.

(ز) تكلفة قطع الغيار والاستبدال للأغشية وأسطح التبادل الحرارى.

وتشير المراجع العالمية إلى أن التكلفة الإجمالية للمياه تشمل تكلفة رأس المال لإنشاء محطات إعذاب المياه، تتراوح مابين ٠,٢٨ دولار لكل متر مكعب، إلى ٠,٧٨ دولار أمريكى للمتر المكعب، على أساس أن العمر الافتراضى للمحطات ٢٠ عاماً. ومن خلال الواقع الذى نعيشه فإننا نجد أن العمر الافتراضى الواقعى فى المناطق الساحلية والصحراوية، يكون فى حدود عشر سنوات مما يزيد من تكلفة رأس المال.

وسنعقد الآن مقارنة واقعية بين تكلفة المياه العذبة المنتجة بطريقتين من محطتين من محطات عملاقة لتحلية مياه البحار (ملوحة فى حدود ٤٥٠٠٠ جزء بالمليون). الطريقة الأولى باستخدام التبخير الوميضى متعدد المراحل مثل محطة الخبر ٣، والطريقة الثانية باستخدام التناضح العكسى مثل محطة جدة ٥ بالمملكة العربية السعودية(١٩).

ففى محطة الخبر ٣ بلغت تكلفت العروض الفنية لإنشاء المحطة ٧,٠٤ دولار أمريكى لكل جالون يوم (القدرة الإجمالية للمحطة ٥٤ مليون جالون فى اليوم) على حين بلغت التكلفة ٨,٩٧ دولار أمريكى لكل جالون يوم، فى حالة استخدام نظام التناضح العكسى للمرحلة الثانية قدرة ١٨ مليون جالون فى اليوم.

وفى المنطقة الغربية على البحر الأحمر فإن أرقام عروض إنشاء محطة جدة ٥ أظهرت ٥,٨ دولار للجالون يوم، لقدرة تبلغ ٩٦ مليون جالون يوم مقارنة بـ٥,٧٣ دولار لكل جالون يوم من وحدات التناضح العكسى أم أسعار بيع المياه المزال ملوحتها فى الأماكن المختلفة فى العالم فهى كالجدول (٥ ـ ١).

جدول (١.٥) : أسعار بيع المياه المزال ملوحتها للشرب

الدولة	سعر المتر المكعب	ملاحظـــــات
مصـــر	$ ٢,٦	تناضح عكسى
قبرص	$ ١,٦٥	تناضح عكسى وضغط بخارى
إسبانيا	$ ١,٦٢	تناضح عكسى
الولايات المتحدة	$ ١,٧٣	ضغط بخارى

وتبلغ تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية فى المتوسط حوالى ٩,٥٤ سنت أمريكى، لكل كيلووات ساعة، واستهلاك طاقة ٨,٢ كيلووات ساعة لكل متر مكعب (ضغط بخارى) و٥,٣ كيلوات ساعة لكل متر مكعب للتناضح العكسى.

أما المقارنة بين النظم المختلفة لتحلية المياه فهى على النحو التالى:

التكنولوجيا المستخدمة	المياه الداخلة للمحطة	سعر الإنتاج $ / جالون
تبخير وميضى متعدد المراحل	مياه بحار	٠,٠٠٢٩٠
ضغط بخارى ميكانيكى	مياه بحار	٠,٠٠٠٧٠
تناضح عكسى	مياه بحار	٠,٠٠١٧٠
تناضح عكسى	مياه زاعقة	٠,٠٠٠٣٢
ديلزة كهربائية عكسية	مياه زاعقة	٠,٠٠٠٤٥

ويتضح من الدراسات السابقة ان تكلفة إنتاج المياه باستخدام الغاز الطبيعى، بدلاً من الكهرباء فى تكنولوجيات الأغشية، تؤدى إلى انخفاض ملحوظ فى التكلفة يصل إلى ١٢,٥٪ فى حالة الضغط البخارى، مع التوليد المزدوج للطاقة الكهربائية.

وتصل تكلفة الإنتاج فى حالة التناضح العكسى باستخدام الغاز الطبيعى مباشرة إلى ٢٥٪ من التكلفة باستخدام الكهرباء. وفى هذه الحالة فإن مضخات المياه العملاقة التى تتغلب على الضغط الأسموزى، تعمل بالاتصال المباشر مع محركات وآلات حرارية تعمل بالغاز الطبيعى، والحل المقابل هو استخدام التوليد المزدوج للكهرباء وللمياه.

ويمكن تلخيص المرادفات الاقتصادية لاستخدامات الغاز الطبيعى والمتوافر فى منطقتنا العربية إلى مايلى:

- مراجل إنتاج البخار.

- آلات الاحتراق الداخلى لإدارة المعدات.
- آلات الاحتراق الداخلى للتوليد المزدوج للكهرباء والمياه.
- التوربينات الغازية للتوليد المزدوج.
- خلايا الوقود.

وباستخدام الغاز الطبيعى نقلل من تلوث البيئة نسبياً بالمقارنة، مع حالات استخدام واحتراق الوقود السائل (المازوت أو السولار) أو الفحم.

ويمكن تشغيل محطات تحلية المياه عن طريق آلات احتراق داخلى، تعمل بالغاز الطبيعى، لإدارة طلمبات الضغط المرتفع كما فى حالة التناضح العكسى. ويتم تزويد كل آلة بوحدة لاسترجاع الطاقة، والتحكم فى التلوث. وهذه المنظومة تسمح لنظام التناضح العكسى بالعمل عند كفاءة أعلى، وتخفض من اهتزاز أداء الطلمبات ومن استهلاكات الكهرباء.

ب: النمذجة الرياضية لاقتصاديات تحلية المياه

لمواكبة التطور السريع لتكنولوجيات إعذاب المياه وتغير تكلفة مكون الطاقة والكيماويات اللازمة، فإنه من المفيد التنبؤ المستمر بتكلفة إنتاج المياه تحت الظروف التطبيقية المختلفة. وقد سبق لعديد من الدراسات المنشورة فى مجلدات مؤتمرات إعذاب المياه العالمية فى العشرين عاماً الماضية، أن أفردت مساحة كبيرة لتقديم النماذج الرياضية المتعددة لحساب تكلفة إعذاب المياه وسنشير هنا إلى الدراسة المصرية (٦-٨) والتى تناولت العناصر المؤثرة على التكلفة على النحو التالى:

- ملوحة المياه.
- كمية المياه المنتجة.
- لرأس المال المطلوب ومدة التركيب.
- معدلات استهلاك الطاقة بصورها المختلفة.
- العمر الافتراضى للمحطة والأغشية والمرشحات والتحكم... إلخ.
- سهولة التشغيل والصيانة.
- الاعتمادية فى المنتج.
- التأثير على البيئة.
- التسهيلات الائتمانية المقدمة.
- التحكم فى جودة الإنشاء.
- ضرورة الوحدات المساعدة والاحتياطى.

ويعتمد النموذج الرياضى على بعض الفروض الأساسية. ونسوق بعضها فى صورة مبسطة:

١ - تكلفة الصيانة حوالى ١,٥٪ من التكلفة الاستثمارية.

٢ ـ تكلفة الاستبدال لبعض العناصر ٦ر١٪ من التكلفة الاستثمارية.

وتوضح الأشكال التالية شكل [٥ ـ ١ (١ ـ و)] تغيير تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه مع ملوحة المياه المغذاة، ومعدل الإنتاج، والتكنولوجيات المستخدمة، مع العلم بأن النموذج الرياضى يعطى قيماً تقديرية والهدف من عرضه هو الاتجاهات العامة لتغيير التكلفة، وفقاً للمتغيرات الأساسية لكل محطة.

ج : اقتصاديات تحلية المياه والتوليد المزدوج

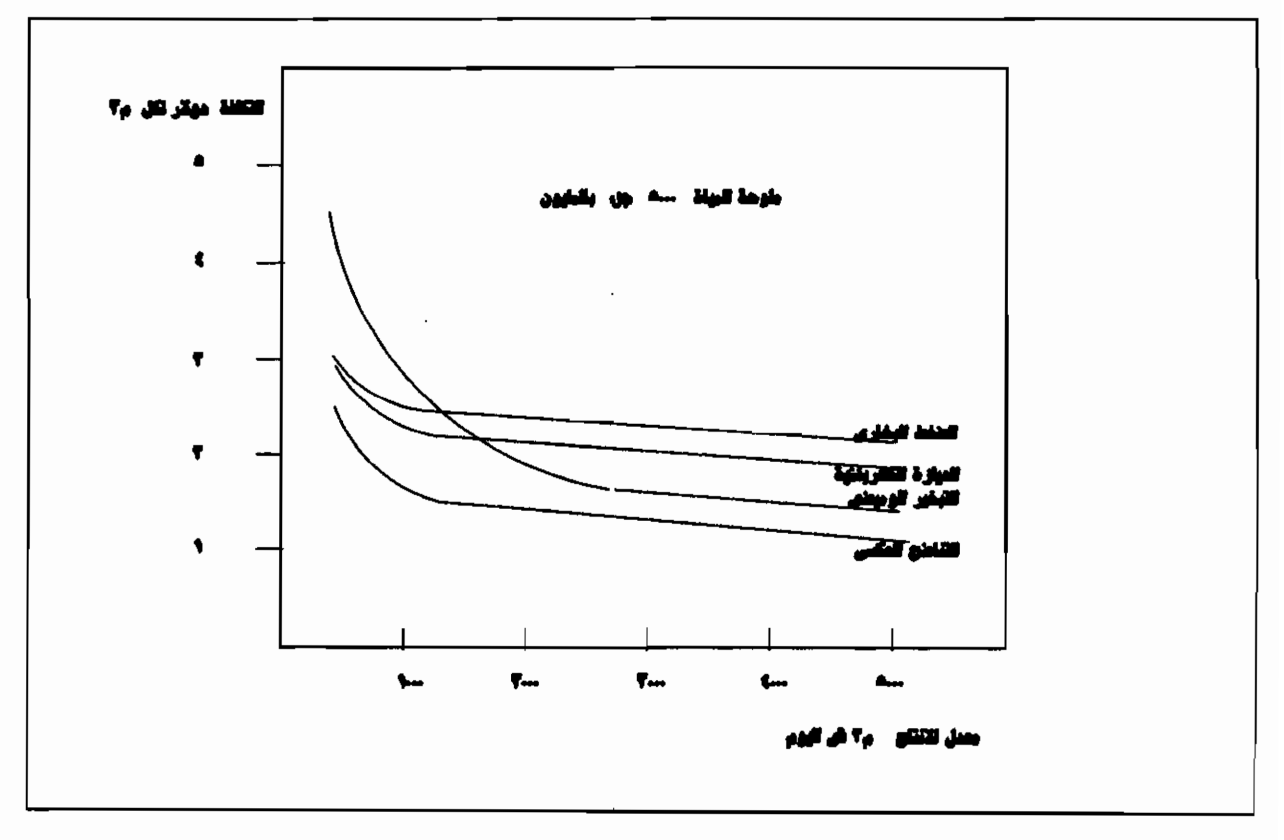
مع ظهور مشكلة الطاقة العالمية فى أوائل السبعينيات، بدأت محاولات جادة لترشيد استهلاك الطاقة، باعتباره عنصراً رئيسياً فى تحديد تكلفة إنتاج عديد من الأساسيات للاستخدام البشرى، ومنها بالطبع المياه.

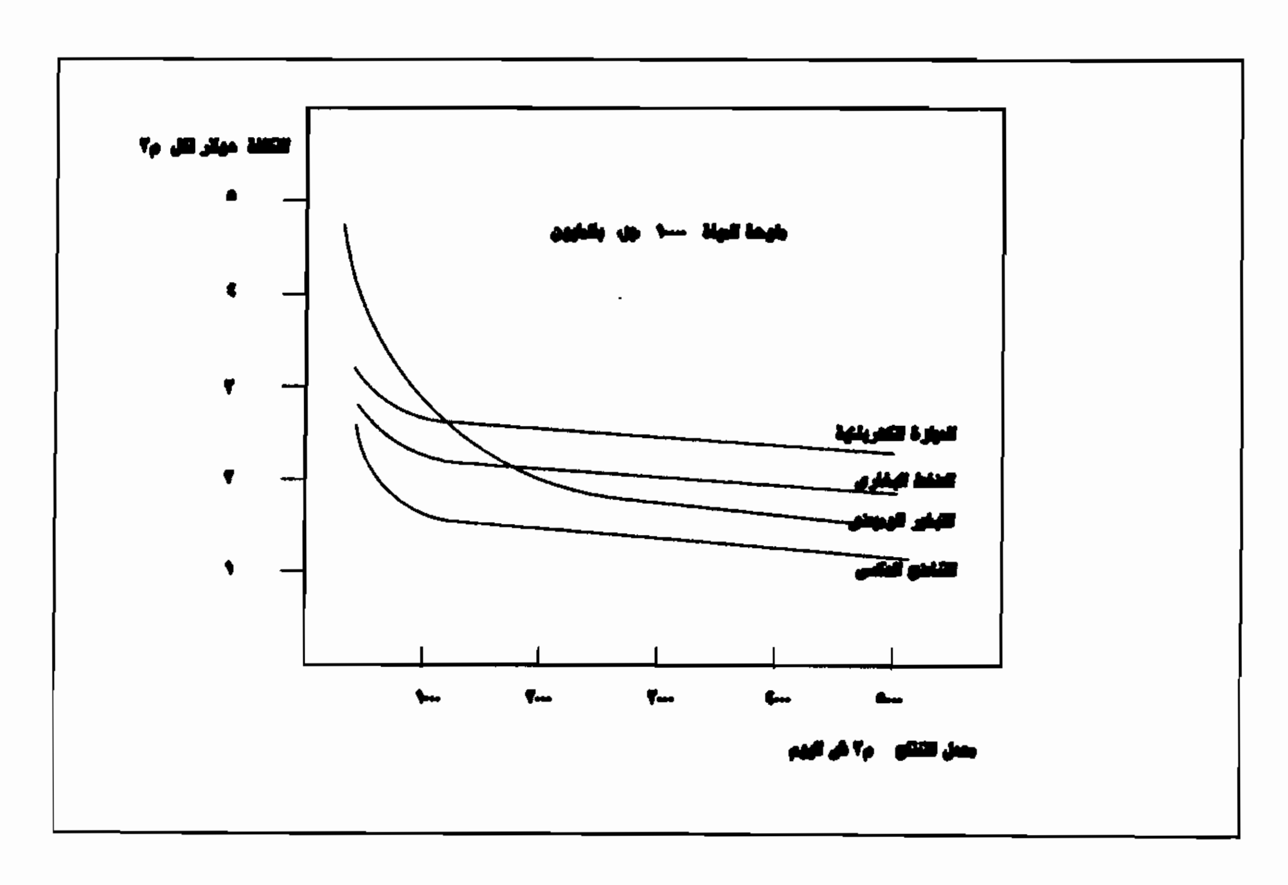
ومن المعروف أنه عند توليد الطاقة الكهربائية فى المحطات الحرارية التى تعمل بطاقة البخار، فإنه للحصول على الطاقة الحركة، لابد من إضافة حرارة (فى المراجل) وطرد حرارة أقل منها (فى المكثف)، والفارق بين الحرارة المضافة والمطرودة يمثل وفقاً لقوانين الديناميكا الحرارية الشغل الناتج. وتبلغ الكفاءة الحرارية لهذه الدورة حتى فى أفضل صورها ٤٥٪. اى أن هناك طاقة كبيرة مفقودة، ويمكن استغلالها لإنتاج مياه بالطرق الحرارية المعروفة مثل التبخير الوميضى وخلافه.

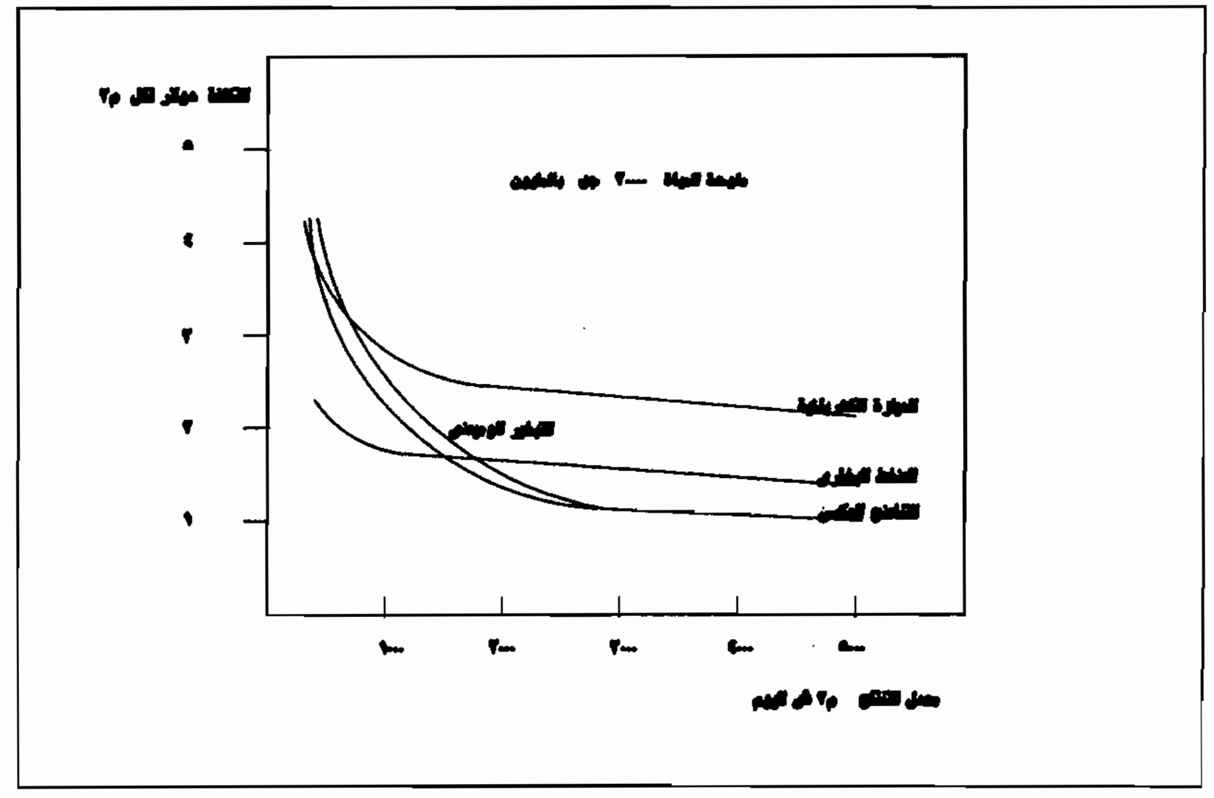
ويوضح شكل (٥ ـ ٢) المكونات الرئيسية لمحطة توليد طاقة بخارية مع إنتاج مياه عذبة. وقاد فريق متخصص[١٨] دراسات متعددة للتوليد المزدوج، مما أدى إلى تحسن فعلى فى الكفاءة الحرارية الإجمالية، وتخفيض فى تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه.

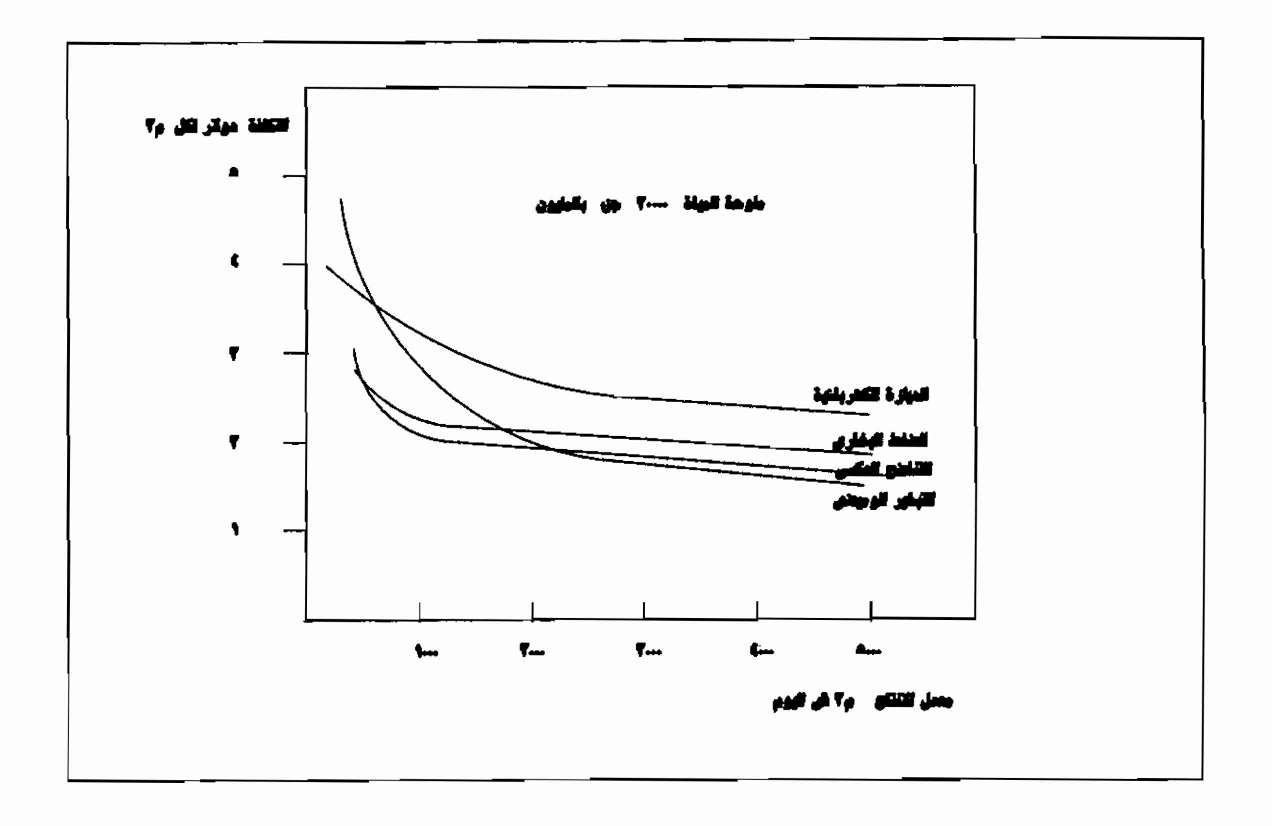
ومن الضرورى الربط بين إنتاج الطاقة الكهربائية وإنتاج المياه العذبة، ومن ثم إيجاد علاقة ارتباط بين سعر بيع الطاقة الكهربائية والماء المنتج، على أساس التكلفة الإجمالية لإنتاج الكهرباء والمياه العذبة.

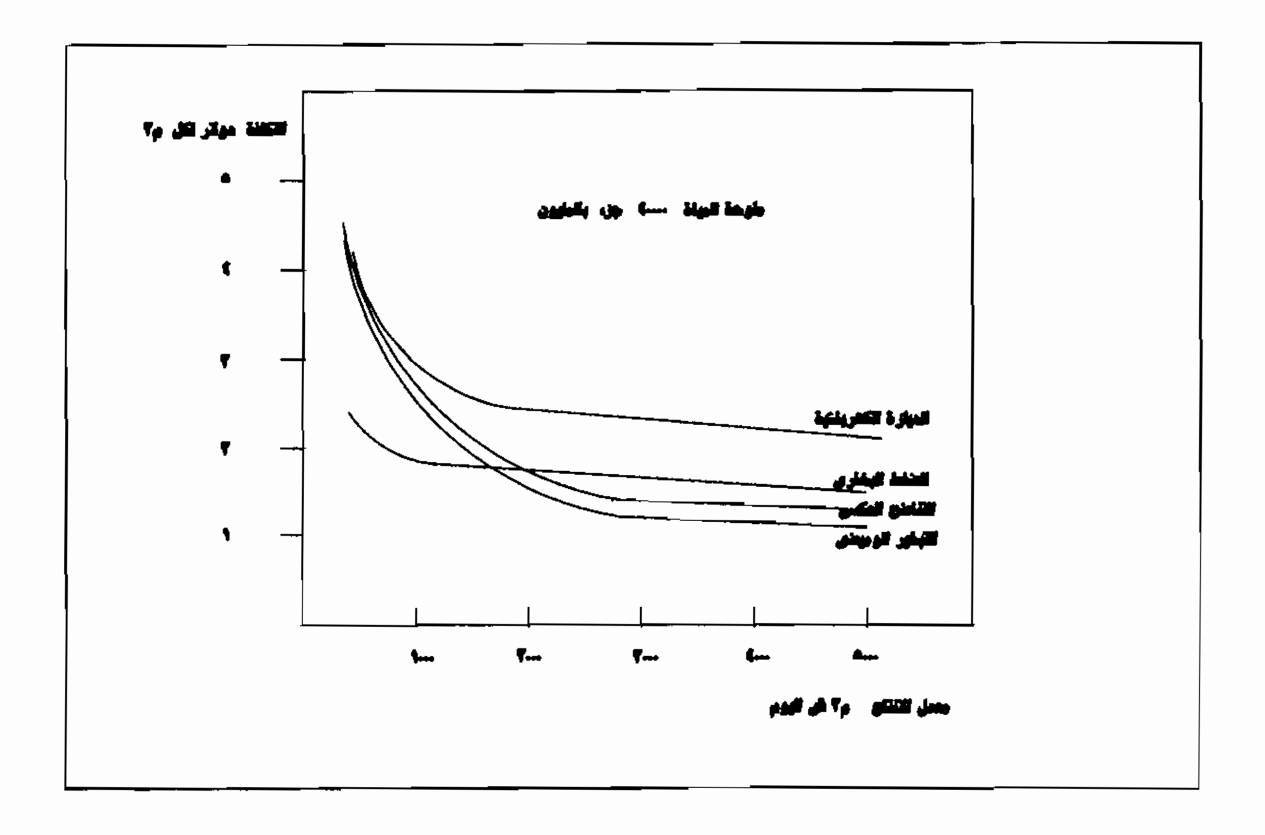
التكلفة دولار لكل م٣
٥
٤
٣
٢
١
ملوحة المياه ١٠٠٠ جزء بالمليون
الانضغاط البخاري
التبخير الوميضي
الديلزة الكهربائية
التناضح العكسي
١٠٠٠ ٢٠٠٠ ٣٠٠٠ ٤٠٠٠ ٥٠٠٠
معدل الانتاج م٣ فى اليوم

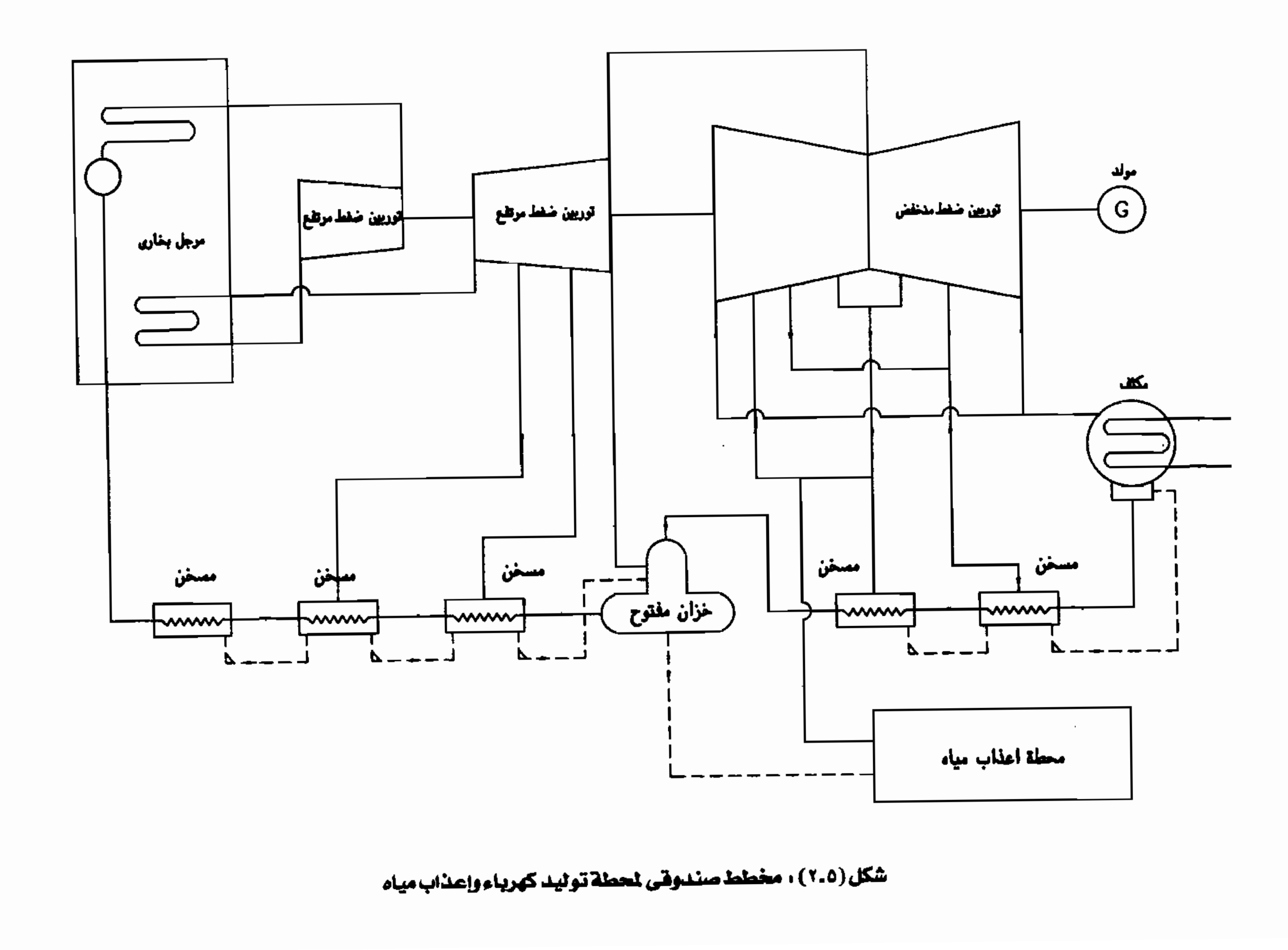



٥
٤
٣
٢
١
١٠٠٠
٢٠٠٠
٣٠٠٠
٤٠٠٠
٥٠٠٠


٥
٤
٣
٢
١
١٠٠٠
٢٠٠٠
٣٠٠٠
٤٠٠٠
٥٠٠٠


التكلفة دولار لكل م٣
ملوحة المياه جزء بالمليون
٥
٤
٣
٢
١
الديلزة الكهربائية
الضغط البخاري
التناضح العكسي
التبخير الوميضي
١٠٠٠
٢٠٠٠
٣٠٠٠
٤٠٠٠
٥٠٠٠
معدل الانتاج م٣ في اليوم


التكلفة دولار لكل م٣
ملوحة المياه جزء بالمليون
٥
٤
٣
٢
١
الديلزة الكهربائية
الضغط البخاري
التناضح العكسي
التبخير الوميضي
١٠٠٠
٢٠٠٠
٣٠٠٠
٤٠٠٠
٥٠٠٠
معدل الانتاج م٣ في اليوم



شكل (٢-٥): مخطط صندوقي لمحطة توليد كهرباء وإعذاب مياه

وفى العادة تستخدم إحدى الطرق التالية لربط محطات التوليد مع تحلية المياه :

١ ـ استخدام مباشر لغازات عادم المراجل البخارية ذات درجة الحرارة المرتفعة لإنتاج بخار، عند درجة حرارة أعلى قليلاً من أعلى درجة حرارة للمياه المتدفقة، خلال وحدة الإعذاب . ويتم استخدام التحكم فى ضغوط التبخير لزيادة الكفاءة الحرارية، وضمان أقصى استفادة بالحرارة المسترجعة .

ووفقاً لمبادئ انتقال الحرارة هناك طريقتان أساسيتان هما :

- التبادل الحرارى المباشر فى مراجل الحرارة المسترجعة .
- التبادل الحرارى غير المباشر فى مراجل الحرارة المسترجعة .

٢ ـ استخدام غازات الاحتراق (عادم المراجل البخارية) كوسيط فى عملية تسخين المياه فى وحدة إعذاب المياه، ويعيب هذه الطريقة وجود فروق كبيرة بين درجات حرارة الغازات والمياه المطلوب تحليتها .

٣ ـ استخدام وسيط حرارى لامتصاص الطاقة الحرارية من الغازات، ثم يقوم بدوره بتسخين مياه البحر، تمهيداً لإزالة ملوحتها .

ويوضح جدول (٥ ـ ٢) محطات التوليد المشترك فى المملكة العربية السعودية، وهى تعتمد على تكنولوجيا التبخير الوميضى، وإنتاج الطاقة بالمحطات البخارية . وهناك نظم أخرى باستخدام عادم وحدات الديزل الكبيرة لتوليد الطاقة وتحلية المياه وتتبع نفس المبادئ نفسها باستغلال الحرارة النوعية بغازات العادم، لتبخير المياه، ثم إزالة ملوحتها .

جدول (٥-٢) : محطات التوليد المزدوج بالمملكة العربية السعودية

اسم المحطة	القدرة المنتجة ميجاوات	المياه المنتجة مليون جالون / يوم	تكنولوجيا التحلية
جدة (١)	٥٠	٥	تبخير وميضى
جدة (٢)	٨٤	١٠	تبخير وميضى
جدة (٣)	٢٠٠	٢٠	تبخير وميضى
المدينـــة	٢٥٠	٢٥	تبخير وميضى
مكـــة	٢١٥	٥٠	تبخير وميضى
الخبر (٢)	٥٠٠	٥٠	تبخير وميضى
الجبيل (٢)	١٣٠٠	٢١٠	تبخير وميضى

الفصل السادس

إعذاب المياه وتلوث البيئة

١ ـ رفع كفاءة وحدات إعذاب المياه :

تتعدد طرق الترشيد وتتنوع وفقاً لتقنيات استخدام المياه وحجم هذا الاستخدام ومدته ومدى تأثير مكون تكلفة المياه على المنظومة العامة، ففى مجال الترشيد يهتم رجال الاقتصاد والصناعة بما يلى :

١ ـ ترشيد استخدام مصادر المياه على النحو التالى :

ـ تعظيم الفائدة من المصادر وعدم استنزافها لتحقيق أى فوائد أقل من القيم المثلى مثل تحسين كفاءة الاستخدام ومنع التسرب.

ـ استخدام أرخص مصادر تحلية المياه المتاحة مع الحصول على أكبر كفاءة من المنظومة.

ـ استخدام المصادر البترولية فى صناعات إنتاجية ذات عائد أكبر من احتراقها فى المراجل (التبخير الوميضى) والأقل تلوثاً للبيئة إذا كان ذلك متاحاً (الغاز الطبيعى).

٢ ـ ترشيد نظم تحلية المياه وذلك بتحسين كفاءة إنتاج المياه واستخدام الطاقة الحرارية والكهربائية فى المحطات كما سبق الإشارة إليه.

٣ ـ ترشيد نقل وتوزيع المياه مما يعنى استخدام خطوط مواسير محكمة وذات كفاءة نقل عالية برفع ضغط الشبكة ومنع التسرب.

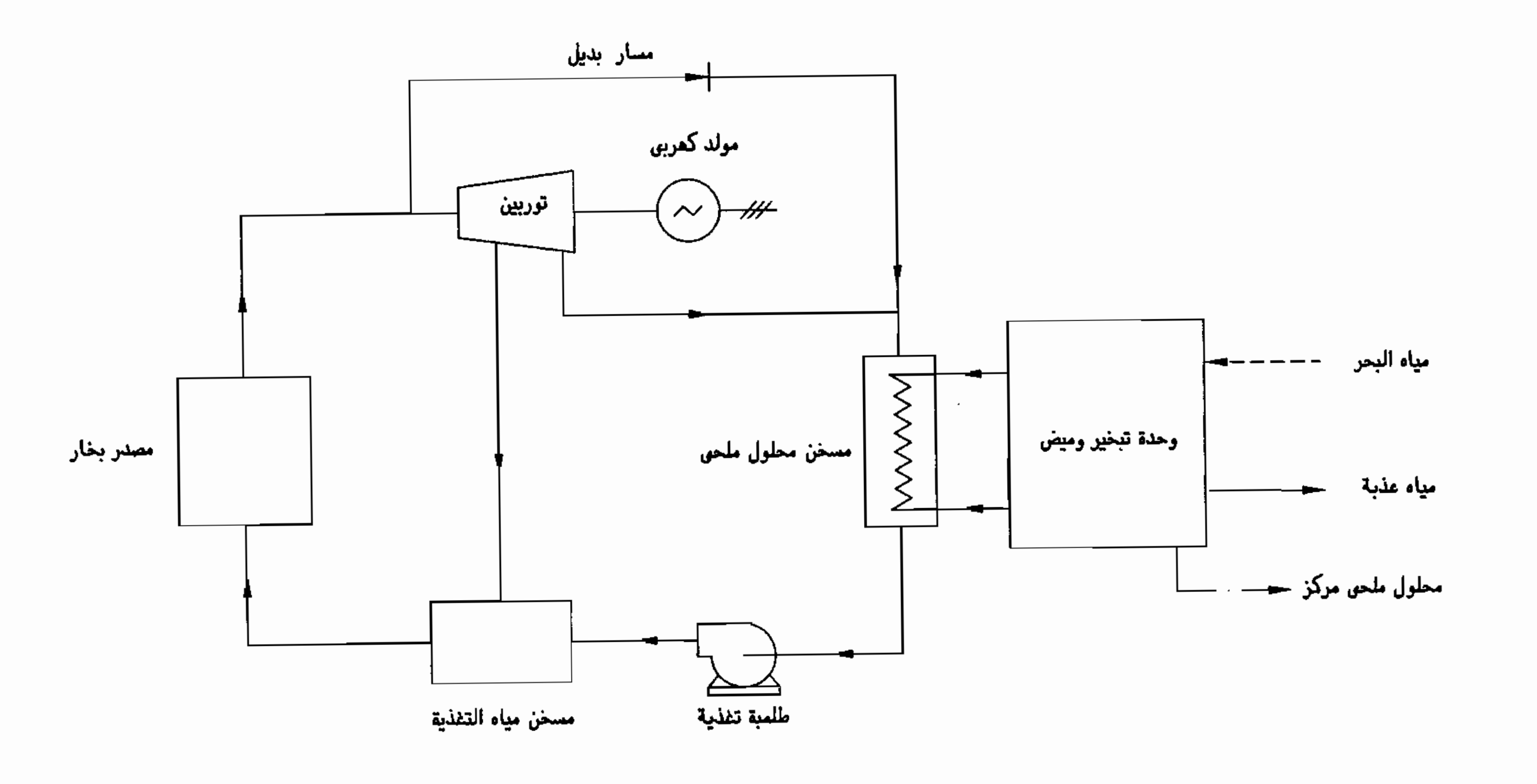
٤ ـ ترشيد استخدام المياه وهذا النوع مهم جداً لأنه يمس عديداً من المواطنين، ويتطلب على المستوى الشخصى عدم استخدام المياه العذبة دون داع، وإحكام غلق الصنابير ومنع التسرب، ويفضل إعادة الاستخدام بعد المعالجة الكيميائية والبيولوجية المناسبة لرى الحدائق والزراعة.

٥ ـ استرجاع طاقة العادم : من معرفتنا السابقة بأسس الديناميكا الحرارية، وتحويل الطاقة وتطويعها، لمسنا أنه لابد للحصول على شغل مفيد من إضافة طاقة حرارية، وطرد طاقة حرارية. ولكى يتم طرد أى طاقة حرارية من أى جسم، لابد أن تكون درجة حرارته أعلى مما حوله. وبالتالى، فإن جميع وحدات وأنظمة إنتاج الطاقة التقليدية، تطرد طاقة حرارية محسوسة إلى الهواء الجوى أو إلى المياه. وتمثل هذه الطاقة المطرودة نسبة كبيرة من الطاقة المضافة، ولتحسين كفاءة إنتاج الطاقة يحاول العلماء إنقاص هذا الفقد، باستخدام الحرارة لتحلية المياه بالطرق الحرارية المختلفة من مسخنات ثانوية مختلفة مثل الموضح بشكل (٦ ـ ١).

ب- ترشيد الطاقة لإعذاب المياه

هناك مبادئ علمية لترشيد الطاقة فى وحدات تحلية المياه، يمكن لنا إيجازها فيما يلى :

- رفع كفاءة وحدات تحلية المياه ومنظومات الطاقة المختلفة، ويكون ذلك بتشغيل الوحدات عند القيم الأصلية للتصميم وتقليل الفواقد من الاحتكاك، والخنق، واستخدام جزء من طاقة العادم، بالإضافة إلى تحسين كفاءة العزل الحرارى وتحسين كفاءة عمل أسطح انتقال الحرارة فى المبادلات الحرارية. ومن المؤكد أن استخدام وسائل فعالة ومتطورة لنظم التحكم تؤدى إلى ترشيد الطاقة، ورفع كفاءة عمل وحدات تحلية المياه.
- ترشيد استخدام المعدات باستخدام نوعيات من المعدات ذات كفاءة استخدام أعلى ودراسة دورات التشغيل والإيقاف والبعد عن التحميل الجزئى للمعدات.
- منع تسرب المياه والطاقة : مثل منع تسرب بخار الماء المضغوط من الوصلات، ومحابس التحكم، والمصايد، ومنع تسرب المياه، والهواء المضغوط، والغازات، والوقود من الخطوط الحاملة لها، وتوفير أجهزة الحماية اللازمة وقواطع التيار بالسعات المناسبة.
- نطوير التقنيات المستخدمة مثل منع تسرب بخار الماء المضغوط من الوصلات ومحابس التحكم والمصايد ومنع تسرب المياه والهواء المضغوط والغازات والوقود من الخطوط الحاملة لها. وتوفير أجهزة الحماية اللازمة وقواطع التيار بالسعات المناسبة.
- تطوير التقنيات المستخدمة : ويكون ذلك بطريقة دورية لمراجعة النظم القائمة وأوجه التقدم التكنولوجى، وتطويع تطبيقات التقنيات الحديثة والأقل استخداماً للطاقة، والاستفادة من العوادم، سواء أكانت مواداً أم غازات، واستخدام معدات سهلة الصيانة، وقليلة الأعطال.
- استخدام البدائل الرخيصة للطاقة : مثل استخدام الطاقات الجديدة والمتجددة، كلما أمكن ذلك واستغلال الطاقات المتاحة فى المخلفات الزراعية، والغاز الحيوى.



شكل (١-٦) : مخطط صندوقى لمحطة توليد حرارية وإعذاب مياه بالاستفادة من الحرارة المفقودة

ج- تلوث البيئة :

يلقى موضوع تلوث البيئة اهتماماً كبيراً بين جميع شعوب العالم نظراً لتأثيره السلبى على الصحة العامة والتغذية والظروف المعيشية المختلفة. ومصادر التلوث متنوعة، ويكفى إيجازها فى النقاط التالية :

- احتراق الوقود فى محطات تحلية المياه.
- احتراق الوقود فى محطات الطاقة الحرارية.
- العمليات الصناعية.
- التخلص من النفايات السائلة.

وعند الحديث عن ملوثات البيئة، فقد استقر العلماء على تسمية الملوثات الأساسية للبيئة على النحو التالى :

أ - الغبار

ب - أكاسيد الكبريت (الناتج من احتراق الكبريت الموجود بالوقود).

ج - أكاسيد النيتروجين (الناتج من احتراق النيتروجين).

د - الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون (الناتج من احتراق الوقود).

هـ - تلوث المياه من المخلفات الصناعية.

وفى دولة صناعية كبيرة مثل الولايات المتحدة تفيد الإحصائيات أن أول أكسيد الكربون يمثل ٦٢٪ مليون طن / عام، على حين تمثل الهيدروكربونات ١٧ مليون طن، وأكاسيد النيتروجين ١٩ مليون طن كل عام، على حين تمثل أكاسيد الكبريت ٢١ مليون طن. وتبلغ القيمة الإجمالية للتلوث سنوياً ١٣٠ مليون طن مترى من الملوثات، طبقاً لإحصائية جهاز شئون البيئة الأمريكى عن عام ١٩٩٤، ويمثل التلوث الناتج من المحطات الحرارية، وإنتاج الطاقة بصفة عامة، حوالى ١٠٠ مليون طن مترى كل عام.

ومن هنا نرى أهمية الحد من تلوث البيئة الناتج عن إنتاج الطاقة فى المحطات التقليدية عامة، وتحلية المياه بصفة خاصة.

جدول (٦-١) : الحد الأقصى لتواجد الملوثات فى الهواء الجوى (الولايات المتحدة الأمريكية)

الغبار	٨٠ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط سنوى) ١٥٠ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط يومى)
أكاسيد الكبريت	٨٠ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط سنوى) ٣٦٥ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط يومى)
أول أكسيد الكربون	٩,٠ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط ثمان ساعات)
أكاسيد النيتروجين	١٠٠ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط سنوى)
الرصـــــاص	١,٥ ميكروجرام / متر ^{3} (متوسط ربع سنوى)

وفى عام ١٩٩٠ صدر تعديل لقانون الهواء النظيف Clean Air Act. وينص على أنه بحلول عام ٢٠٠٠ يجب تخفيض معدلات التلوث من أكاسيد الكبريت والنيتروجين إلى ٣٠٪ من قيمتها عام ١٩٩٠ دون استخدام وسائل مثبطة. وهذا يعنى بالضرورة تعديلات جوهرية فى تصميم المعدات والآلات المستخدمة فى إنتاج الطاقة الحرارية، وفى وسائل النقل.

وغاز أول أكسيد الكربون لا لون له ولا رائحة، وهو غاز سام، ينتج من عدم اكتمال الاحتراق فى الآلات الحرارية. وعند الإصابة بالتسمم به يمر من خلال الرئتين إلى الدم، حيث يتحد مع الهيموجلوبين، ويمنعه من حمل الأكسجين من الرئة إلى خلايا الجسم. أما أكاسيد الكبريت فلها أضرار كبيرة على صحة الإنسان، والخضر، والمواد، حيث تشير دراسات الأمراض المعدية إلى أن ازدياد نسبة أكاسيد الكبريت تتسبب فى ارتفاع معدل المرض، ومعدل الوفاة، حيث يؤثر استنشاق الأكاسيد على خلايا الرئتين، ويسبب أمراض الرئة، وصعوبة التنفس، بالإضافة إلى أمراض الكلى، والجهاز الحسى، والأنيميا. أما أكاسيد النيتروجين فتسبب فى أمراض القلب والتنفس، وتدهور الكلى، وسرطان البروستاتا.

ويؤثر الغبار والأتربة التى تنتج من توليد الطاقة، وخاصة فى المحطات التى تستخدم الفحم على صحة الإنسان حيث تتسبب الأتربة ذات الأقطار أقل من واحد ميكرون فى تسمم الإنسان، وتكلس الرئتين، وهذه الأتربة الصغيرة تخترق دفاعات جسم الإنسان نظراً لصغر حجمها، وتتركز فى المناطق الآهلة بالسكان، حيث تنتج السيارات والشاحنات، أكثر من ٩٠٪ من هذه الملوثات.

د ـ إنتاج الطاقة وتلوث البيئة:

إن استخدام مصادر الطاقة المتاحة، وتطويعها لخدمة الإنسان فى صورها المختلفة من إنتاج للطاقة الكهربائية والكيميائية والميكانيكية، وبصورة كبيرة ومطردة، خلال القرنين الماضيين، مع عدم الاهتمام بصورة التلوث البيئى المختلفة، كان له أثره السلبى على المجتمع كله، ويمكن تلخيص تأثير البيئة على النحو التالى :

يحدث تلوث الهواء الجوى نتيجة لضخ كميات كبيرة من عادم معدات إنتاج الطاقة فى محطات القوى، حيث تحتوى هذه المواد على غازات ثانى وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين، وأكسيد الكبريت.

وتواجه محطات القوى التقليدية التى تستخدم الوقود الحفرى، بأنواعه، مشاكل فنية للقضاء على النسب المرتفعة لتلوث البيئة، وتعتمد فى تخفيض هذه النسب إلى النسب المسموح بها، والتى لاتؤذى الإنسان، والمحددة من قبل أجهزة شئون البيئة بالدول المختلفة والأمم المتحدة على استخدام الأساليب التالية :

(أ) مراجعة التصميمات المستخدمة لمكونات محطات القوى ووحدات تحلية المياه والناتج عنها من ملوثات واستخدام تقنيات متطورة داخل أفران المراجل البخارية.

(ب) تصميم أجهزة متطورة تضاف إلى المحطات والمعدات القائمة، بهدف إزالة الملوثات بعد تكونها مثل: (الغسيل بالمياه، وإضافة مواد كيميائية لتحليلها وتفكيكها، واستخدام مرشحات خاصة).

أما تلوث المياه فهو ناتج من التخلص من بقايا المحطات الحرارية، ووحدات إعذاب المياه بدفعها إلى أقرب مجرى مائي، وهي مخلفات في صورة مياه ذات ملوحة عالية، أو ساخنة، أو في صورة بخار ماء. فكل هذه الملوثات تغيير في الظروف البيئية، وهجرتها من موقع إلى آخر، بالإضافة إلى أن هذه الملوثات تدخل بطريقة غير مباشرة في الغذاء الذي يتناوله الإنسان من خضراوات وفاكهة وغيرها.

وقد سبق في الفصل السابق الإشارة بإيجاز إلى أهمية استخدام الغاز الطبيعي بدلاً من الكهرباء لإعذاب المياه. ونشير هنا إلى اهتمام الدراسات السابقة بتحديد نسب التلوث المسموح بها كما في الجدول (٦ - ٢).

جدول (٦-٢) : معدلات التلوث الصناعي في منطقة جدة بالمملكة العربية السعودية

	إجمالي التلوث الصناعي طن / سنة	التلوث من محطات الإعذاب طن / سنة	الأماميات العالمية لمحطات الإعذاب
أتربة وملوثات	٧٠	٥,٢	٤,٥
أكاسيد الكبريت	٢٣٢	١٧٠	١٠,٤
أكاسيد النيتروجين	٥٣	١٨	١٣,٥
الهيدروكربونات	٧٢		

الفصل السابع

أوجه القصور فى الأداء والتشغيل

تحتاج أعمال ونظم تحلية المياه إلى عمليات أخرى مساعدة بجانب العمليات الأساسية لإزالة الملوحة، ويمكن إيجاز هذه العمليات فيما يلى :

١ ـ المعالجة الأولية : وخلالها يتم تعقيم المياه الداخلة للمحطة وقتل البكتيريا باستخدام الكلور وماشابه ذلك من كيماويات، حيث يتم إمرار المياه بعد سحبها من البئر الشاطئ إلى مرشحات رملية، ومرشحات كربونية، للتخلص من أى رواسب أو عوالق بالإضافة إلى التخلص من المواد العضوية والروائح.

ويلى عملية المعالجة الأولية حقن المياه بكميات متباينة من الحامض لزيادة الأس الأيدروجينى. ويضاف كذلك مواد مانعة لترسيب العوالق بعد عمليات الترويق المختلفة. ووجود المواد والبكتيريا البيولوجية من مياه التغذية يتسبب فى خفض كفاءة عمل وحدات إعذاب المياه. ويجب الحد من التكاثر البكتيرى بالمياه، وذلك بإضافات متعددة، إلا أنه يجب الحذر من ذلك، لأن هذه الإضافات تؤثر سلبياً بتكون القشور على أسطح انتقال الحرارة والاختناقات، ممايزيد من الفقد فى الضغط، والمهاجمة الكيميائية للمعادن الحاملة للسوائل المختلفة. ويتم الحد من التكون البكتيرى من خلال العوامل التالية: درجة الحرارة ـ الأس الأيدروجينى ـ الضغط الأوسموزى ـ مستوى الأكسجين ـ معدل التصرف.

٢ ـ عمليات إعذاب المياه : وقد تم شرحها بالتفصيل فى الفصل الثالث.

وبعد خروج المياه من وحدات إعذاب المياه بنسبة تركيز أملاح ذائبة فى حدود ٥٠٠ جزء بالمليون يتم حقن المياه بمادة ثنائى كبريتات الصوديوم Sodium bisulfate لإزالة آثار الكلور المتبقى. ومما هو جدير بالذكر التأكيد على أهمية التحكم التام فى كميات الإضافات الكيميائية، حتى لاتتسبب فى تآكل جدران الأوعية الحاملة للسوائل، فى حالة الحامضية الشديدة مثلاً.

٣ ـ المعالجة النهائية : بعد خروج المياه من وحدة الإعذاب، يتم تجميعها من المراحل المختلفة إلى خزان المياه العذبة، ويضاف الكلور للتعقيم، ويضبط الأس الأيدروجينى للمياه، لتصبح صالحة للشرب والاستخدامات الأخرى.

وتتعدد المشاكل المتكررة فى محطات التحلية المختلفة وتتبلور فى المشاكل الأساسية التالية:

١ ـ ارتفاع ملوحة المياه المنتجة عن القيم التصميمية.

٢ ـ انخفاض إنتاجية المحطة م٣ / ساعة .

٣ ـ انسداد المرشحات الدقيقة فى المعالجة الأولية .

٤ ـ تعطل نظام الإضافات الحامضية لضبط الأس الأيدروجينى .

٥ ـ اختلاف درجة الأكسدة .

٦ ـ تعطل طلمبات دفع المياه .

٧ ـ انخفاض كفاءة المراجل البخارية وعدم ضبط ضغوط التشغيل .

٨ ـ أعطال وحدات التحكم وضبط الجودة .

وتتركز أسباب القصور فى الأداء عادة فى :

● مآخذ المياه من البحر (بئر الشاطئ وخلافه، ومعظم أسباب الأعطال تكون لعدم مناسبة المواد الداخلة فى تصنيع معدن المآخذ للمياه وموقع المآخذ) .

● عمليات المعالجة الأولية لمياه البحر نتيجة وجود ملوثات، وتسرب الزيوت، وسوء حالة المرشحات الأولية، وتغيير التركيب الكيميائى للمياه .

● تعانى طلمبات دفع المياه والتفريغ من بعض مشاكل التصنيع وعدم دقة التركيب .

● فى حالة استخدام نظم الأغشية قد تزداد نسبة مرور الأملاح **Salt Passage** عن القيم التصميمية مما يؤدى إلى تداعى جودة المياه المحلاة ونقص العمر الفعلى للأغشية .

● انهيار أسطح انتقال الحرارة وتكون القشور المثبطة لمعدلات انتقال الحرارة، والتى تؤدى بالتبعية إلى تدهور كفاءة إنتاج المياه .

وتقوم الإدارات الهندسية المسئولة عن متابعة أداء محطات التحلية بتسجيل جميع بيانات ومؤشرات الأداء والأعطال من خلال برامج وحزم برمجيات خبير على الحاسب الآلى، ويتم تعديل قيم المتغيرات لتتمشى مع القيم التصميمية والأصول الفنية .

الفصل الثامن

الطرق والتقنيات البديلة

هناك عديد من الطرق الحرارية والكيميائية المختلفة المعروفة لتحلية المياه، ولكنها ليست ذائعة الصيت، ولم تستخدم بكثرة فى التطبيقات الحقلية، أو المعملية، أما الفكرة فهى صائبة. ونذكر منها مايلى:

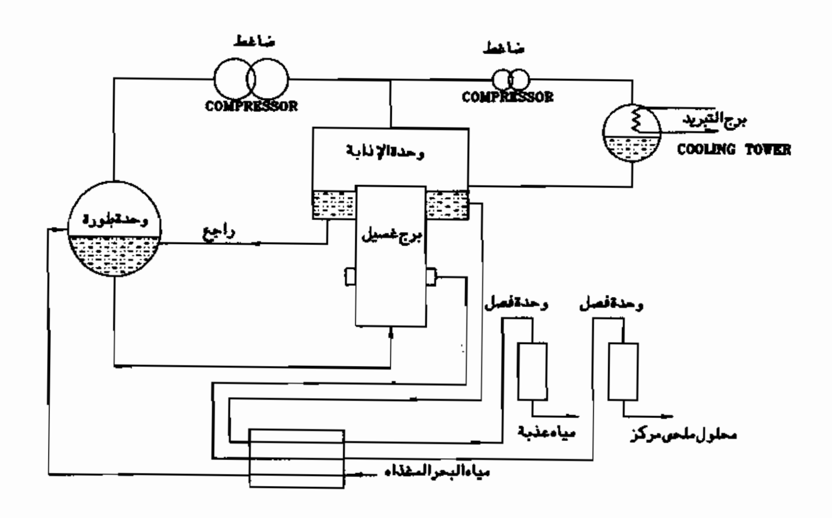
أ - إعذاب المياه بإنتاج البللورات

أولاً : طريقة إعذاب المياه بالتجميد :

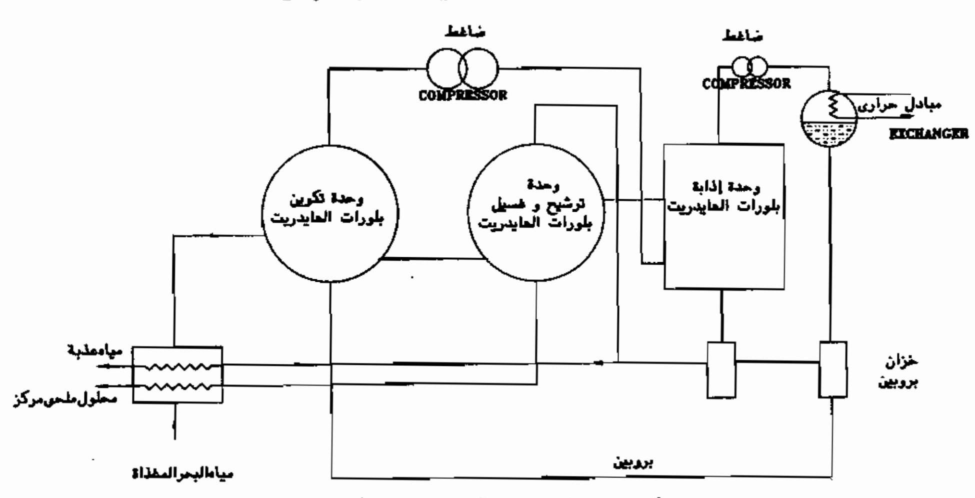
عند تجمد المياه إلى بللورات من الماء النقى محاطاً بالأملاح، وتستخدم وسيلتى التجميد والتسخين للحصول على المنتج النهائى (الماء النقى) ويتم التجميد وتكون البللورات محاطة بالمحلول الملحى، ويلزم فصل الأملاح بالغسيل المباشر، أو غير المباشر، حيث يتم رش رذاذ من المياه المالحة فى غرفة مفرغة وعند ضغط منخفض. ويتم تبخير جزء من المياه إلى بخار مباشرة آخذة الحرارة من باقى المياه، والتى تبرد مكونة بللورات من الثلج. ويتم ضخ خليط الثلج والمحلول الملحى إلى جهاز للفصل، يتم غسيل البللورات الثلجية بقليل من المياه. ويتبخر الباقى فى غرفة التفريغ، ويتم ضغطه وتبريده. ثم يتم إدخاله كمتكاثف إلى جهاز الفصل والإذابة وتطرد الحرارة اللازمة لإذابة البلورات الثلجية (شكل رقم ٨ - ١).

ثانياً : طريقة استخدام الهايدريت :

تعتمد على خواص بعض المواد التى تكون بللورات غير قابلة للذوبان فى المياه المالحة : وتؤدى بعض التغيرات فى الضغط ودرجات الحرارة إلى تفكك البللورات إلى مياه عذبة والوسيط. ويوضح شكل (٨ - ٢) رسماً كروكياً لتطبيقات استخدام البروبين فى إعذاب المياه، حيث تدخل مياه البحر المالحة إلى المبادل الحرارى. ويتم بعد ذلك دفع المياه المنتجة والمحلول الملحى المركز، للاستفادة القصوى من المحتوى الحرارى. ويتم بعد ذلك دفع المياه المالحة إلى جهاز البلورة، حيث تختلط المياه مع البروبين ويتبخر معظم البروبين ممتصاً حرارة تكوين الهايدريت. ويتم إمرار الخليط إلى جهاز لفصل البللورات من المحلول الملحى، ويتم غسيل البللورات بتيار عكسى من المياه العذبة. ويتم إدخال البللورات بعد الغسيل إلى جهاز الإذابة حيث تتفكك إلى مياه عذبة مرة أخرى، يتم تكثيف أبخرة البروبين وتسييل الباقى بواسطة وحدة ضاغط ثانوى. أما البروبين السائل فى جهاز الإذابة فيتم دفعه إلى جهاز فصل المياه، وجزء من المياه العذبة المنتجة تستخدم للغسيل فى برج الغسيل.



شكل (٨-١) : تحلية المياه بالتجميد

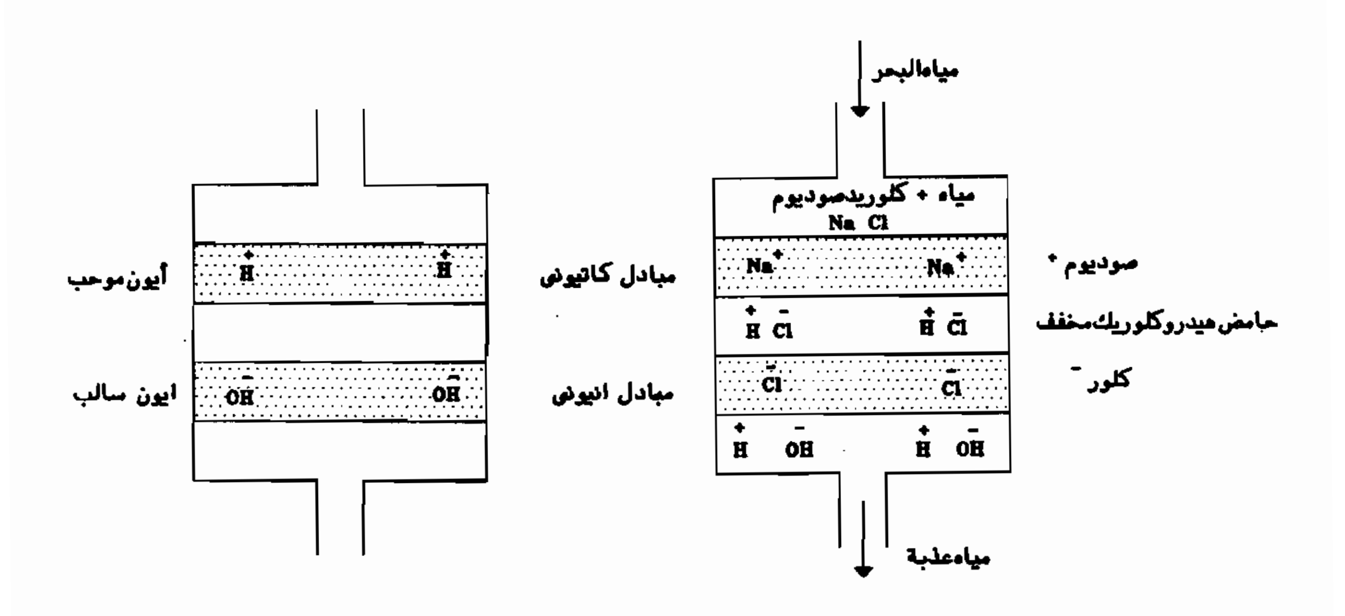


شكل (٨-٢) : تحلية المياه باستخدام الهايدريت

ب- إعذاب المياه بالتبادل الايونى :

تعد هذه الطريقة إحدى التقنيات المستخدمة فى إعذاب المياه الزاعقة، وتعتمد أساساً على التبادل الأيونى داخل جهاز مكون من برج به مواد مسامية مركبة فى طبقات تمتص الأيونات الموجبة أو السالبة بالتبادل، ويوضح شكل (٨-٣) رسماً كروكياً لبرج التبادل الأيونى حيث يتم إدخال المياه المالحة من أعلى وحدة التحويل، وعند مرور المياه المحتوية على كلوريد الصوديوم على المبادل الكاتيونى يتم استبدال أيون الصوديوم الموجب بأيون هيدروجين، ويتم مرور الكلور دون تغيير. وعلى ذلك فإن محلول كلوريد الصوديوم يتحول إلى محلول من أيونات الهيدروجين، والكلور (محلول حامض الهدروكلوريك المخفف). وبمرور هذا المحلول الحامض المخفف على المبادل الأيونى يتم استبدال أيون الكلور بأيون الهيدروكسيد. وبالتالى تتكون المياه المزال ملوحتها باتحاد الهيدروجين والهيدروكسيد.

ومع تكرار الاستخدام تضعف قابلية مواد التبادل الأيونى، ويتطلب الأمر إعادة التنشيط بالغسيل الكيميائى لإعادة الخواص الأساسية ويمثل عنصر التكلفة عائقاً ملموساً أمام اتساع نطاق استخدام هذه التقنية، على نطاق واسع، فى إعذاب مياه البحر.



شكل (٢-٨) : تحلية المياه بالتبادل الأيونى

الفصل التاسع

توجهات مستقبلية

أ : مقدمة :

التنمية الحقيقية الشاملة تعنى الاهتمام والاستفادة القصوى من جميع المصادر المتاحة. ومستقبل المياه موضوع جديد قديم. جديد بمعنى معاصرة الحملة العالمية للترشيد وتعظيم الاستفادة. وجدته النسبية على مستوى الانشغال اليومى والمكان البارز له، فى خريطة الأولويات الإنمائية القومية والعالمية. وقديم على مستوى المفهوم العام والرؤية الاستراتيجية، لتنمية مصادر المياه أساساً للأنشطة السكانية. وتناول الموضوع بشقيه الجديد والقديم يثير مشكلة مفهومية - شديدة الحساسية - وهى تناول الموضوع - الجديد - البراق كأحد موضوعات الساعة، باعتباره امتداداً لواقع وجهد قديم متصل ومتواصل، لعلماء ومبتكرين.

وفى مجال التوجهات المستقبلية نجد أن هناك عدة محاور يمكن استنباطها مما سبق عرضه وسرده خلال صفحات هذه الكراسة وغيرها، وهى تشكل فى مجموعها طرحاً فنياً هندسياً بيئياً تكنولوجياً، يجمع بين التساؤلات والتحفظات، وبين المفاهيم والمقترحات فى بنية مرنة ومفتوحة النهاية، تسمح بإعادة الصياغة والتطوير والإضافة من أجل :

- الخروج عن مفهوم أزمات المياه التقليدية.
- التنمية والمياه والبيئة.
- تكنولوجيات المياه وإنتاج الطاقة المزدوج.
- توصيات ترشيد الطاقة فى محطات التحلية.
- استعادة التوازن البيئى.

ب : اتجاهات تطوير مفاهيم المياه :

ويهمنا فى هذا المقام التأكيد على أهمية تطوير مفاهيم المياه بصفة عامة ونوجز من هذه الاتجاهات مايلى :

- تطبيق المفاهيم الحديثة لاستخدام الطاقة المتاحة فى إعذاب المياه وترشيدها، وعدم استخدام الطاقة الكهربائية فى التسخين المباشر، إلا فى أضيق الحدود، واعتبارات حماية البيئة من التلوث.
- التأكيد على أهمية إنشاء وتدعيم إدارات للمياه فى القطاعات المستهلكة والمنتجة.
- استخدام الأساليب الحديثة فى التوليد المزدوج للطاقة وإعذاب المياه.
- الاستفادة القصوى من مصادر الطاقة التقليدية.

ج: إعذاب المياه والبيئة: ثنائية مستحيلة؟ طرح وتساؤل!

إن الموازنة بين متطلبات التنمية من المياه كمطلب أساسى وضرورى ومشروع لمواجهة الطلب المتزايد للبشر واحتياجاتهم، وبين عدم الإضرار بالبيئة ـ باعتبارها المصدر المتجدد للثروات الأساسية ـ مازالت هى القضية الدائمة التى لم تحسم بعد. فمازال تحقيق التنمية يتطلب فى كثير من الأحيان الجور على البيئة، ولعل أخطر ما فى الأمر أن كل ما يحصل عليه جيل اليوم يدفع أبناء هذا الجيل أكثر من ٦٠٪ من ثمنه. وفى هذا المجال فإن تشديد عقوبات وتجريم تلوث البيئة من جراء إنتاج المياه المحلاة باستخدام الطاقة، مع برامج التوعية والإعلام المستمر، هى الحل المثالى لهذه الثنائية.

د: استخدام الطاقة الجديدة والمتجددة لإعذاب المياه

ويمكن أن تعتمد عليها المجتمعات العمرانية اعتماداً رئيسياً كمصدر للطاقة. وتتمثل مصادر الطاقة المتجددة فى الأشعة الشمسية، والرياح، وطاقة الغاز الحيوى.

ويجب أن يكون التفكير فى الاستخدام عقلانيا دون الدخول فى تطبيقات تجريبية لتكنولوجيات ناشئة، مكانها معامل الأبحاث، مع التركيز على تكييف عمل نظم الطاقة الجديدة والمتجددة، لتعمل بالاكتفاء الذاتى Stand Alone Systems.

ويهمنا كذلك أن يدرك متخذ القرار أن ترشيد الطاقة هو أحد الوسائل الفعالة لتحجيم الفواقد، وتعظيم الاستفادة من العادم فى إعذاب المياه فى محطات التوليد المزدوج.

إن فكرة التنمية القائمة على زيادة قدرات توليد الطاقة، وإعذاب المياه، والتوسع فى الاستخدام، لابد أن تقترن مباشرة بالأساليب التقنية لحماية البيئة من التلوث.

المراجع

أسماء بعض المراجع العربية

١ - ازمة المياه فى الشرق الأوسط والأمن القومى العربى والمصرى.
لواء أ. ح. محمود محمد محمود خليل - المكتبة الأكاديمية - القاهرة ١٩٩٨.
٢ - مشكلات المياه فى الشرق الأوسط. د. محمد ابوالعلا - مطبعة الجبلاوى - القاهرة ١٩٩٤.

أسماء بعض المراجع الأجنبية :

1. Flow, Mixing & heat Transfer in Furnaces, Khalil, Editor, Pergamon Press, and U. K. 1978.
2. Heat, Fluid Flow in Power System Components, Rizk, Editor, Pergamon Press, U. K., 1979.
3. Appraisal of Water Desalination Methods Suitable for Egypt, Hilal, M. M. et al, FRCU Project, 1983.
4. Local Manufacture of Desalination Units in Egypt, Khalil, E.E., FRCU Project, 1986.
5. Water Demand In Egypt, El-Fouly, M.F. & Khalil, E.E., Desalination, 1, 1979, PP 205 - 212.
6. Potable Water Technology Transfer & Assessment In Egypt, Khalil, E.E., Mariy, A.H. & Marawan, M., Desalination, 64, 1987, PP 217 - 227.
7. Energy & Environment, UNESCO & Pergamon Press, 1979.
8. An Integrated Approach to The Development of Locally Manufactured Membrane-Based Desalination System For The Red Sea Governorate. El-Halwagi, M.M. STC Project, 1996.
9. Selected Topics In Environmental Management, UNESCO, 1996.
10. Design of Solar Thermal Systems, ElSayed, M.E. et al, Scientific Publishing Center, King AbdelAziz University, Jeddah, 1994.
11. Energy for Rural Development, National Academy of Sciences, Washington, D.C. USA, 1976.
12. Modelling of Furnaces & Combustors, Khalil, E.E., Abacus Press, U.K., 1983.
13. Power Plant Design, Khalil, E.E., Gordon & Breach, USA, 1991.
14. Energy, Aubrecht II, G.J., Merrill Publishing Company, USA, 1991.
15. Energy, Hinrichts, R.A. Saunders College Publishing, USA, 1993.
16. The Natural Gas/Desalination Interface, La Torre, E.D., Desalination and Water Reuse, 3/2, pp. 38 - 43, 1993.

17. Brackish Water Desalination by Electrodialysis, Hamada, M., Desalination and Water Reuse, 2/4, pp. 8 - 15, 1992.
18. Environmental Impact of Dual Purpose Plants, Menna, A., Desalination and Water reuse, 4/1, pp. 46 - 49, 1994.
19. Saline Water Conversion Corporation in the Kingdom of Saudi Arabia., A.B. Abanmy & M.B. Al-Rashed., Desalination and Water Reuse, 3/2, pp. 11 - 17, 1993.

رقم الإيداع ٩٩/١٦٧٠٣
ISBN 977-281-105-7

مطابع الدار الهندسية ت : ٥٤٠٢٥٩٨